

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

ISSN 0555-2656

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

научно-технический журнал

Основан в 1967 г.

№ 2 (63), декабрь 2005

© Харьковский
национальный
университет
радиоэлектроники,
2005

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 9148 от 10.09.2004

Журнал включен в список специальных изданий ВАК Украины по техническим наукам

СОДЕРЖАНИЕ

БОНДАРЕНКО М.Ф., ЗОЛКИН С.Г., ЗОЛКИНА Э.А. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА	3
ЛЕСНАЯ Н.С., ЛЯХОВЕЦ А.В. МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ КЛИЕНТОВ БАНКА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	7
РУДЕНКО О.Г., СНЫТКИН М.С., КУВШИНОВ А.Е. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ АДАПТИВНОГО РЕЗОНАНСА	11
ВОЛИК А.В., ГЕРАСИН С.Н., СЛИПЧЕНКО Е.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СРЕДНЕГО УРОВНЯ И ДИСПЕРСИИ АКТИВНОСТИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ЛОКАЛЬНЫМИ СВЯЗЯМИ	17
КАНИЩЕВА О.В., САЙЕД МОХАММАД ТАУХИД СИДДИКИ, ШАРОНОВА Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING И TEXT MINING ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	22
SMELYAKOV S.V. GOLDEN SECTION AND SOLAR CYCLES IN NATURAL PHENOMENA AND BIONICS	27
ГОЛОБОРОДЬКО Н.К., КРУТЬКО Е.Н., ЛИННИК С.Н. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	41
ВАЛЕНДА Н.А., ДЮБКО Г.Ф. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СЕМАНТИКИ	48
ТИМОФЕЕВА Е.В., ШЕВЧЕНКО А.Ю. МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ WEB-ОНТОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ	53
ПРОЦАЙ Н.Т. МОДЕЛИ ЯЗЫКА — СКЛОНЕНИЕ ПРИТЯЖАТЕЛЬНЫХ ИМЕН ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ	58
ЕРОХИН А.Л. АЛГЕБРО-ЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМАХ С КАНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ	66
ТИМОФЕЕВ С.П. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ТРАНСЛЯЦИИ СХЕМАМИ XML (с приложением к компьютерной лингвистике)	76
КУЗНЕЦОВ С.Т. ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ	87
ПАВЛОВ Д.А. ЭКСТЕНСИВНОЕ РАЗВИТИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР	91
ЧАЛЫЙ С.Ф., КАЛЬНИЦКАЯ А.Ю. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЕ-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ ОПИСАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ	98
КАУК В.И., СЛОБОДЫРЕВ Г.В. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ XML-ПАРСЕРОВ	103
СИДОРЧУК Н.М. АРХІТЕКТУРНІ ТА СИСТЕМОТЕХНІЧНІ ПІДХОДИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ УКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ЛІНГВІСТИЧНОГО КОРПУСУ	107
ЯХИМОВИЧ М.Н. ОБОБЩЕННАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОНА	111
КИРИЧУК Е.П. СИНТЕЗ МЕТОДИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА	114
КОБЫЛИН О.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУПП ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ	119
КОЗУЛЯ Т.В. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У КОРПОРАТИВНІЙ ЕКОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ	124

УДК 004.896

М.Ф. Бондаренко, С.Г. Золкин, Э.А. Золкина

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА

Постановка проблемы. Восприятие и интерпретация данных об окружающей обстановке играют важнейшее значение при управлении действиями адаптивного робота (как и при формировании поведения человека). В обстановке непрерывно изменяющихся условий окружающего мира организацию пространственных, временных или функциональных структур в сложных системах можно рассматривать при учете стохастических (случайных) процессов, имеющих значение для ряда самоорганизующихся объектов: от биологических до технических систем. Решение задач адекватной динамической реакции интеллектуального робота на внешние воздействия требует наличия математических моделей изучаемых явлений и количественной оценки их параметров.

Анализ исследований. Для разработки динамических математических моделей использованы современные приемы перспективного имитационного моделирования [1, 2]. Стохастические имитационные модели позволяют получать результат, который является случайным сам по себе, и поэтому он может рассматриваться как оценка истинных характеристик модели. В этих моделях используются дифференциальные уравнения, которые устанавливают отношения для скоростей изменения переменных состояния во времени. Для численного интегрирования уравнений в случае со случайно заданными значениями переменных состояния в начальный (нулевой) момент времени используются технологии численного анализа. Для динамического прогноза скорости реакции интеллектуальной системы необходим учет времени и факторов случайных возмущений. Стохастическая модель, описывающая изменения состояния изучаемого объекта во времени, в технических приложениях рассматривается как результат случайного возмущения исходной модели во времени.

Постановка задачи. Целью работы является исследование моделей динамического прогноза, которые могут быть использованы при выработке решений в интеллектуальной системе реального времени (оперативный режим) нейрофизиологической реакции человека, а также при определении возможности применения этих моделей для увеличения скорости реакции интеллектуальной системы при восприятии и интерпретации роботом различной информации (оптической, звуковой, концентрационной).

Основное изложение материала. В работе [3] на базе экспериментальных данных электроэнцефа-

лографического исследования была получена математическая модель из 15 регрессионных полиномов вида (1), отражающих ассоциативность взаимосвязей реакции функциональных полей неокортекса человека на внешние раздражители.

$$y_{ij}^p = \sum_{m=1}^7 b_{mj} y_{mj} + \sum_{n=1}^9 b_{in} y_{in} + \sum_{p=1}^4 b_{p} x_p, \quad (1)$$

где y_{ij}^p — значение ВП (вызванного потенциала) i -го ритма на j -м контрольном электроде при применении p -го фактора, $i = \overline{1, 7}$ (номер ритма, табл. 1), $j = \overline{1, 9}$ (номер электрода, табл. 1), $p = \overline{1, 4}$ (номер фактора, табл. 1); x_p — ранжированные значения факторов внешнего влияния.

Таблица 1
Соответствие индексов измеряемых переменных

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сигнал на j -м датчике	Fp1	Fp2	C3	C4	O1	O2	T3	T4	среднее
i -й регистрируемый ритм	δ (1-4 Гц)	θ (4-8 Гц)	$\alpha 1$ (8-13 Гц)	$\beta 1$ (13-20 Гц)	$\beta 2$ (20-30 Гц)	$\alpha 2$ (9-11 Гц)	среднее (1-30 Гц)		
p -й фактор влияния	зрительный	слуховой	запаховый	комплекс всех раздражителей					

Эта модель может быть использована при распознавании статических образов внешнего мира в сенсорных системах робота. Известно, что визуальное восприятие объектов внешнего мира, реализованное с помощью различных телевизионных камер, имеет значительные погрешности формирования образов этих предметов в подсистемах технического оцувствления мобильного робота. Поэтому, как в ходе самого эксперимента, так и при статистической обработке результатов задача моделирования заключалась в установлении значимости ассоциативных связей оценки сенсорного восприятия окружающего мира. Ассоциативные связи позволяют дополнять визуальные характеристики объектов звуковыми и концентрационными характеристиками, присущими специализированным задачам контроля, таким как обнаружение наркотиков на постах таможенного контроля или биологических объектов (человека) под завалами в ходе проведения МЧС спасательных работ. Посрав-

нению с базовой моделью робота, оборудованной только камерами визуального наблюдения, комплексное оценивание совокупности показателей через ассоциативные связи с высокой вероятностью может позволить повысить на 25% точность опознания объектов.

Статические модели вида (1) при оценке значимости факторов, остаточной дисперсии и коэффициента множественной детерминации оказались достаточно представительными. Был проведен регрессионный анализ для квадратичных зависимостей, который показал, что статистические оценки квадратичных полиномов не лучше оценок линейных полиномов вида (1). Это является подтверждением данных о линейном, пропорциональном характере ассоциативных связей биопотенциалов неокортекса, возникающих при зрительных, слуховых и концентрационных внешних воздействиях. Каждый регрессионный полином вида (1), описывающий ассоциативные связи, формировался на основании статистических данных, полученных согласно существующих методик обработки результатов электроэнцефалографических исследований. Методика предусматривает выбор опытным лаборантом участка энцефалограммы, который, по его мнению, наилучшим образом характеризует биоэлектрические процессы в мозге, как реакцию на внешние сигналы. Затем этот участок проходит компьютерную обработку, его характеристики осредняются и для статистического анализа предоставляется число, как результат обработки биопотенциала.

Разработанные с помощью методов регрессионного анализа статистические модели геометрически представляют собой многофакторную гиперплоскость, характеризую в среднем реакцию неокортекса и ассоциативные взаимосвязи его зон. В связи с тем, что возникновение биопотенциалов представляет собой динамический процесс, уравнения вида (1) преобразовываются к уравнениям вида (2), т. е. на гиперплоскость налагается винеровский процесс, характеристики которого совпадают с амплитудными значениями биопотенциалов. Таким образом модели ассоциативных связей в динамическом режиме представлены стохастическими уравнениями:

$$\frac{dy_{ij}^p(t)}{dt} = b_0 + \sum_{m=1}^7 b_{mj} y_{mj}^p + \sum_{n=1}^9 b_{in} y_{in}^p + \sum_{p=1}^4 b_p x_p + W(t). \quad (2)$$

Для оценки устойчивости решений уравнений вида (2) усилена динамика колебаний факторов, для чего принято допущение о случайном характере всех факторов, входящих в уравнения (2), и задача прогнозирования рассматривается, как задача (3). С помощью генераторов случайных чисел значения факторов уравнений (3) варьировались в интервале 3σ . Интервалы варьирования, оценки ма-

тематических ожиданий и дисперсий для каждого фактора были рассчитаны в работе [3].

$$\frac{dy_{ij}^p(t)}{dt} = b_0 + \sum_{m=1}^7 b_{mj} y_{mj}^p(t) + \sum_{n=1}^9 b_{in} y_{in}^p(t) + \sum_{p=1}^4 b_p x_p(t) + W(t). \quad (3)$$

Таким образом от регрессионных полиномов мы переходим к системам 15-связанных стохастических дифференциальных уравнений вида (2) или (3), решения которых подчиняются законам вероятностного хаоса. Для получения количественных оценок значений y_{ij}^p , изменяющихся во времени, были найдены решения дифференциальных уравнений видов (2), (3) с использованием метода Рунге-Кутты на интервале от 0 до 10 с с шагом $h = 0,001$ с. Все параметры правых частей уравнений распределены по нормальному закону в соответствии со своими математическими ожиданиями и дисперсиями. Уровень значимости шума принят равным 0,3.

В результате решения для каждого уравнения вида (2), (3) были получены оценки средних значений интегралов на всем периоде интегрирования от 0 до 10 с. (табл. 2), а также оценки средних значений интегралов по каждой 0.5 с. (табл. 3–6 для уравнений вида (2), табл. 7–10 для уравнений вида (3)). В физическом смысле эти значения являются оценками мощности сигналов y_{ij}^p .

Таблица 2

Параметр	Оценки по уравнениям вида (2)	Оценки по уравнениям вида (3)
y_{45}^1	0,281004912703848	0,273050382171901
y_{46}^1	0,262354847124661	0,269933892987815
y_{47}^1	0,104146387807832	0,10541526449905
y_{45}^2	0,327094247296046	0,328182256032394
y_{46}^2	0,25166733511999	0,248134472728119
y_{47}^2	0,202883620317944	0,203559933965022
y_{57}^2	0,133311492195084	0,126131435141275
y_{45}^3	0,260489391399806	0,262866829133406
y_{46}^3	0,359013879872214	0,365056035991877
y_{47}^3	0,0805969271541903	0,0842472052145757
y_{55}^3	0,0403910969919864	0,0454555865127461
y_{57}^3	0,111299468063073	0,118105375980411
y_{45}^4	0,311402416079934	0,306488159667078
y_{46}^4	0,333342735607231	0,333228903094459
y_{47}^4	-0,0884069891615333	-0,0912750522354968

Из табл. 2 видно, что оценки средних значений интегралов по уравнениям вида (2) очень близки с результатами по уравнениям (3), т. е. в среднем энергетика исследуемых процессов, протекающих в неокортексе, не изменилась, что говорит о стабильности полученных моделей и возможности использования систем уравнений видов (2), (3) для улучшения реакции сенсорных систем робота.

Таблица 3

Время, с	y_{45}^1	y_{46}^1	y_{47}^1
0,5	0,06650	0,06217	0,02474
1	0,16238	0,15086	0,05968
1,5	0,22121	0,20815	0,08202
2	0,25858	0,241285	0,09295
2,5	0,27897	0,26072	0,10292
3	0,29293	0,26857	0,10645
3,5	0,30553	0,28054	0,10932
4	0,29477	0,28198	0,11728
4,5	0,31142	0,28495	0,11424
5	0,31279	0,29549	0,11383
5,5	0,30517	0,28707	0,11229
6	0,30559	0,279421	0,11902
6,5	0,32619	0,28879	0,11231
7	0,32099	0,29742	0,11050
7,5	0,30544	0,288761	0,11515
8	0,30480	0,278666	0,11407
8,5	0,32726	0,28345	0,11964
9	0,27897	0,29087	0,12836
9,5	0,31071	0,30300	0,11799
10	0,32980	0,31486	0,11007

Таблица 4

Время, с	y_{45}^2	y_{46}^2	y_{47}^2	y_{57}^2
0,5	0,07718	0,05968	0,047801	0,03163
1	0,19043	0,14407	0,11842	0,07699
1,5	0,25501	0,19909	0,16170	0,10431
2	0,29880	0,23186	0,18517	0,12137
2,5	0,32375	0,24794	0,20050	0,13274
3	0,33651	0,25756	0,21265	0,13760
3,5	0,35305	0,27456	0,21435	0,14646
4	0,35376	0,27306	0,21757	0,14372
4,5	0,36267	0,26891	0,22231	0,15114
5	0,34910	0,27403	0,22617	0,14473
5,5	0,35299	0,28146	0,22006	0,14582
6	0,36465	0,28731	0,23644	0,15061
6,5	0,37427	0,27148	0,22729	0,13910
7	0,36260	0,27289	0,21594	0,16035
7,5	0,35839	0,28917	0,22564	0,14839
8	0,35362	0,26420	0,23101	0,14001
8,5	0,36860	0,28036	0,20972	0,14354
9	0,36266	0,27619	0,23314	0,15628
9,5	0,36648	0,27689	0,22879	0,15181
10	0,37725	0,30254	0,22292	0,13953

Результаты, приведенные в табл. 3–6, показывают, что процессы, описываемые уравнениями вида (2) протекают стабильно и достигают своего наиболее вероятного значения на 2,5 секунде. Из табл. 7–10 видно, что, хотя переходный период также составляет 2,5 секунды, процессы в модели динамического прогноза нейрофизиологической реакции, описанной системой уравнений вида (3), протекают нестабильно со значительными энергетическими скачками на всем интервале интегрирования от 0 до 10 с. Таким образом, уравнения этой

Таблица 5

Время, с	y_{45}^3	y_{46}^3	y_{47}^3	y_{55}^3	y_{57}^3
0,5	0,0623	0,0849	0,0195	0,0097	0,0263
1	0,1485	0,2102	0,0453	0,0233	0,0659
1,5	0,2038	0,2806	0,0628	0,0316	0,0866
2	0,2373	0,3302	0,0733	0,0387	0,1028
2,5	0,2531	0,3633	0,0849	0,0419	0,1076
3	0,2677	0,3759	0,0847	0,0404	0,1174
3,5	0,2814	0,3869	0,0795	0,0459	0,1201
4	0,2768	0,3758	0,0820	0,0478	0,1137
4,5	0,2825	0,3960	0,0958	0,0415	0,1229
5	0,2818	0,3879	0,0879	0,0427	0,1229
5,5	0,2906	0,3835	0,0889	0,0492	0,1246
6	0,2835	0,4068	0,0963	0,0448	0,1268
6,5	0,2866	0,3961	0,0849	0,0429	0,1227
7	0,2905	0,4031	0,0869	0,0469	0,1182
7,5	0,2743	0,4051	0,0974	0,0446	0,1146
8	0,3016	0,4157	0,0962	0,0410	0,1305
8,5	0,2855	0,3821	0,0759	0,0448	0,1205
9	0,2952	0,4223	0,0970	0,0409	0,1198
9,5	0,3050	0,3675	0,0793	0,0456	0,1345
10	0,3007	0,4052	0,0929	0,0426	0,1266

Таблица 6

Время, с	y_{45}^4	y_{46}^4	y_{47}^4
0,5	0,07367	0,07880	-0,02098
1	0,18102	0,19134	-0,0512
1,5	0,2487	0,26509	-0,06978
2	0,2887	0,30443	-0,08513
2,5	0,31128	0,33390	-0,08670
3	0,32499	0,35248	-0,08994
3,5	0,34072	0,35295	-0,09906
4	0,34313	0,35300	-0,10021
4,5	0,34103	0,35852	-0,09546
5	0,3313	0,37266	-0,09827
5,5	0,3390	0,35992	-0,10033
6	0,34340	0,38047	-0,10936
6,5	0,34523	0,36932	-0,08562
7	0,34748	0,38376	-0,08442
7,5	0,35843	0,37684	-0,09550
8	0,35716	0,35363	-0,11997
8,5	0,32562	0,37393	-0,09611
9	0,33669	0,35799	-0,09460
9,5	0,33743	0,39844	-0,08852
10	0,35280	0,34928	-0,09687

модели можно использовать в случаях предсказания реакции интеллектуальной системы робота на воздействие внешнего раздражающего сигнала в условиях сильного, как внешнего, так и внутреннего зашумления. Анализ численных результатов показывает, что динамические модели прогноза реакции на различные раздражители позволяют получать устойчивые решения, как при случайном характере различных раздражителей, так и в диапазоне варьирования параметров модели, распределенных по нормальному закону.

Таблица 7

Время, с	y'_{45}	y'_{46}	y'_{47}
0,5	0,06415	0,05800	0,02828
1	0,15315	0,14861	0,05042
1,5	0,21244	0,20973	0,09558
2	0,25364	0,27665	0,10260
2,5	0,29502	0,26690	0,08145
3	0,29974	0,27016	0,16207
3,5	0,275865	0,18676	0,10909
4	0,30273	0,24751	0,07339
4,5	0,34219	0,35232	0,05598
5	0,27442	0,25432	0,17315
5,5	0,34304	0,41722	0,17944
6	0,24647	0,27536	0,14802
6,5	0,32098	0,46787	0,10454
7	0,27384	0,16440	0,01460
7,5	0,39423	0,30051	0,20832
8	0,35419	0,09652	0,13010
8,5	0,20185	0,20211	-0,03036
9	0,29424	0,58152	0,13059
9,5	0,30184	0,22773	0,145711
10	0,25688	0,39436	0,14523

Таблица 9

Время, с	y'_{45}	y'_{46}	y'_{47}	y'_{55}	y'_{57}
0,5	0,0597	0,0864	0,0230	0,0101	0,0278
1	0,1373	0,1963	0,0409	0,0236	0,0594
1,5	0,2211	0,3135	0,0673	0,0295	0,0852
2	0,2392	0,2743	0,0680	0,0422	0,1170
2,5	0,2124	0,3349	0,0982	0,0609	0,1233
3	0,2094	0,4133	0,0560	0,0525	0,1109
3,5	0,3050	0,3410	0,0735	0,0724	0,0879
4	0,3495	0,3815	0,0878	0,0308	0,1013
4,5	0,3476	0,4479	0,0508	0,0419	0,1266
5	0,1446	0,4832	0,1303	0,0281	0,1117
5,5	0,2288	0,4118	0,0908	0,0855	0,1016
6	0,1964	0,3377	0,0682	0,0542	0,1702
6,5	0,4681	0,4677	0,0969	0,0451	0,0889
7	0,3923	0,2042	0,0731	-0,0275	0,1664
7,5	0,2110	0,4474	0,0568	0,0777	0,1156
8	0,4855	0,3891	0,0762	0,0593	0,1657
8,5	0,1844	0,3874	0,0746	0,1575	0,1225
9	0,1303	0,4344	0,0451	-0,0364	0,1043
9,5	0,1404	0,4627	0,2121	0,1507	0,3126
10	0,5934	0,4854	0,1943	-0,0495	0,0522

Таблица 8

Время, с	y'_{45}	y'_{46}	y'_{47}	y'_{57}
0,5	0,08042	0,06819	0,04859	0,03346
1	0,18971	0,14355	0,11187	0,087831
1,5	0,23391	0,15645	0,16799	0,10145
2	0,32293	0,24721	0,17367	0,11043
2,5	0,32362	0,29575	0,17729	0,12102
3	0,33658	0,17827	0,23595	0,12388
3,5	0,28980	0,37050	0,21322	0,19315
4	0,32667	0,28514	0,23139	0,16352
4,5	0,46352	0,39255	0,22047	0,08192
5	0,33550	0,25830	0,21173	0,13465
5,5	0,25378	0,15632	0,20793	0,19122
6	0,54514	0,26676	0,32632	0,13219
6,5	0,33849	0,21178	0,20855	0,18017
7	0,36225	0,18534	0,22296	0,13376
7,5	0,48823	0,56191	0,24426	0,10856
8	0,26214	0,30889	0,28450	0,24789
8,5	0,50055	0,25733	0,11043	-0,00090
9	0,12843	0,29203	0,18972	0,06336
9,5	0,36662	0,18828	0,34435	0,21544
10	0,41526	0,13803	0,13992	0,09953

Таблица 10

Время, с	y'_{45}	y'_{46}	y'_{47}
0,5	0,07142	0,08621	-0,022494
1	0,18114	0,17071	-0,0433
1,5	0,22237	0,26119	-0,08809
2	0,30501	0,35475	-0,06485
2,5	0,33031	0,30911	-0,10790
3	0,32537	0,37272	-0,07075
3,5	0,34504	0,34749	-0,11758
4	0,31533	0,20526	-0,06913
4,5	0,30285	0,47330	-0,112148
5	0,27888	0,31515	-0,16453
5,5	0,31439	0,33621	-0,02783
6	0,41346	0,36642	-0,01536
6,5	0,38653	0,41474	-0,24440
7	0,26546	0,31319	-0,05634
7,5	0,50313	0,38146	-0,11703
8	0,44922	0,49884	-0,01068
8,5	0,25207	0,27146	-0,11095
9	0,38960	0,47128	-0,10841
9,5	0,26445	0,16180	-0,09927
10	0,21363	0,55317	-0,17436

Выводы

Новизна. Имитационное моделирование реакций новой коры головного мозга человека на внешние раздражители, отраженное полученными системами связанных стохастических дифференциальных уравнений, определяет научную новизну данной работы, т.е. позволяет прогнозировать динамическую реакцию человека, перенося ее на адекватное поведение интеллектуальных систем и роботов.

Практическое значение. Полученные модели динамического прогноза нейрофизиологической реакции человека для случаев наличия внешней помехи, а также совместного воздействия внешней помехи

и случайного характера всех переменных позволяют определять оценку внешней среды и соответственно прогнозировать реакцию робота на случайные факторы, возникающие при его перемещениях.

Список литературы: 1. Ладенко И.С. Имитационные системы. — Новосибирск, 1981. — 300 с. 2. Аверилл М. Лоу, В. Дэвид Кельтон. Иммитационное моделирование. Классика CS. 3-е издание. — СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2004. — 847 с. 3. Золкин С.Г. Моделирование биофизических реакций в интеллектуальных системах // Математические машины и системы. — 2005. — № 2. — С. 147–154.

Поступила в редколлегию 05.09.2005

УДК 007.52

Н.С. Лесная, А.В. Ляховец

МЕТОДЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ КЛИЕНТОВ БАНКА И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Введение

Одной из актуальных задач в сфере автоматизированных банковских систем (АБС) по-прежнему остается задача разработки средств и методов сегментации рынка клиентов банка и анализа кредитоспособности, надежности и перспективности работы с клиентом. Актуальность данных задач связана с бурным развитием банковских структур, стремительным увеличением количества клиентов, расширением спектра услуг, предлагаемых банком. Кредитование сегодня становится массовым явлением. Современная экономическая ситуация подталкивает банки к расширению кредитного предложения. Наряду с понижением кредитной ставки простота оформления и скорость оформления кредита становятся факторами конкурентной борьбы банков за клиентов [1].

В результате сегментации рынка клиентов банка осуществляется возможность определять условия кредитования для каждого конкретного сегмента. С задачей сегментации рынка клиентов банка связана задача классификации новых клиентов и в зависимости от сегмента, к которому относится клиент, предлагать условия кредитования.

Решение данных задач, с одной стороны, даст возможность сформировать условия кредитования для каждого отдельного класса клиентов банка, а с другой — на основании имеющейся осмысленной сегментации появится возможность автоматически предлагать условия кредитования каждому конкретному клиенту в соответствии с его характеристиками.

Следовательно, целью данной работы является нахождение сегментов клиентов банка для оказания услуг кредитования и классификация новых клиентов. Исходя из цели исследования, можно сформулировать следующие задачи исследования: анализ существующих методов сегментации рынка клиентов банка, анализ характеристик клиентов, значимых для определения кредитоспособности клиента, анализ существующих методов кластеризации, анализ существующих методов классификации, возможность применения нейросетевых методов для решения задач сегментации и классификации клиентов банка, построение нейросетевой модели, разработка программного модуля для проведения модельного эксперимента.

1. Анализ предметной области

В настоящее время одним из перспективных направлений для развития банка является предо-

ставление услуги кредитования. Для успешного развития банка в данной сфере услуг необходимо учитывать всю совокупность информации о клиентах. Успешное кредитование обусловлено соответствием условий кредита, предложенного клиенту, потребностям и возможностям данного конкретного клиента. Следовательно, для успешной реализации банком основных задач при кредитовании необходимо произвести сегментацию рынка клиентов.

Решение задачи сегментации может быть произведено классическими методами — кластерный анализ, деревья решений, байесовский подход, но из-за динамического изменения характеристик каждого клиента, постоянного добавления важных для банка характеристик и неоднозначности решаемой задачи предлагается использовать методы искусственных нейронных сетей [2].

Для решения первой задачи — сегментирования рынка клиентов банка — предлагается использовать нейронную сеть, решающую задачу кластеризации — самоорганизующиеся карты признаков Кохонена (НС Кохонена). Вторая задача предполагает классификацию новых клиентов на основании их характеристик, решить которую предлагается также с помощью нейросетевого подхода посредством нейронной сети встречного распространения.

Длительный промежуток времени для определения кредитоспособности заемщика и условий кредитования применялись скоринговые карты [3]. Заключение по каждому заемщику основывалось на количестве баллов, набранных соискателем кредита. Данный метод является достаточно эффективным, однако в связи с быстроизменяющимися условиями среды кредитования необходим постоянный пересчет скоринговых карт. Операция пересчета является трудоемкой и дорогостоящей, что сильно снижает актуальность использования данного метода.

Для определения наиболее эффективных признаков, позволяющих проводить кластеризацию, проанализированы анкеты, которые каждый новый клиент заполняет при открытии счета.

Из всей совокупности имеющихся факторов были выделены наиболее значимые: возраст; пол; семья; домашний адрес; валюта вклада; сумма депозита; процент; срок; характер выплаты процентов; вид вклада (название); вид рекламы, посредством которой клиент ознакомился с информацией банка.

2. Постановка задачи

Задача предоставления выгодных условий кредитования подразделена на две подзадачи.

Первой является задача кластеризации существующих клиентов банка для нахождения сегментов рынка клиентов банка [4]. На основании характеристик клиентов банка, полученных в результате анкетирования, формируется обучающая выборка для НС Кохонена [5].

Нейронная сеть Кохонена, топология которой приведена на рис. 1, позволяет определять не только количество сегментов рынка, а и, самое основное, структуру каждого сегмента рынка клиентов банка, т.е. выявить характерные свойства каждой характеристики в каждом сегменте. При этом сохраняется возможность динамически определять количество сегментов в случае постоянного изменения и обновления количества и характеристик клиентов.

В качестве примера рассмотрим решение задачи сегментации рынка клиентов банка при следующих исходных данных: исследуемая обучающая выборка содержит вектор входных параметров X длиной 12, по количеству характеристик клиентов, количество элементов 144 (количество клиентов).

В результате решения задачи кластеризации мы должны получить картину о возможных сегментах рынка. Для каждого класса приводятся наиболее характерные значения свойств (для клиентов банка: личные данные, социальное положение, информация об отношениях с банком и т.д.), по которым можно судить о соответствующем сегменте рынка. Полученным сегментам необходимо присвоить номера, а на основании значений свойств присвоить каждому сегменту осмысленные имена.

Классификация новых клиентов банка является второй задачей. Классификация проводится на основании данных, полученных от клиента, но далеко не всегда есть все данные о клиенте. В этом

случае необходимо восстановить неизвестную информацию. При этом в результате решения данной задачи должен быть получен процент принадлежности клиента к каждому из классов. Для решения задачи классификации при наличии неизвестных или отсутствующих значений свойств клиентов, выбрана нейронная сеть встречного распространения.

Для решения указанных задач: кластеризации клиентов с помощью нейронной сети Кохонена и классификации новых клиентов с помощью нейронной сети встречного распространения был разработан соответствующий программный продукт, в котором создана возможность просмотра количества классов, принадлежности конкретного объекта к одному из определенных ранее классов, просмотра значений центроидов классов и средних значений каждого свойства по всей выборке.

3. Решение задачи кластеризации

Рассмотрим результаты проведения модельного эксперимента при решении задачи сегментации клиентов банка по предоставлению услуг кредитования. В результате обучения нейронной сети Кохонена производится кластеризация объектов исходной выборки.

Результаты кластеризации исходной выборки, составленной из анкет 144 клиентов банка, представлены в табл. 1. Выявлено, что все 12 характеристик являются значимыми и влияют на принятие решений о выделении сегментов.

На рис. 1 представлена топология нейронной сети Кохонена, которая состоит из одного слоя нейронов и имеет: 12 входных характеристик, которые соответствуют свойствам клиентов, и 4 класса — сегмента рынка клиентов банка [6].

Проанализировав результаты кластеризации, проведенной с помощью нейронной сети Кохонена, выявлено 4 кластера. Каждый кластер является

Таблица 1

Свойства центроидов классов в задаче кластеризации

	Свойства	Средние значения свойств			
		Сегмент 1	Сегмент 2	Сегмент 3	Сегмент 4
1	Пол	муж.	муж.	жен.	жен./муж.
2	Семейное положение	женат/замужем	холост	женат/замужем	холост
3	Дети	есть дети	нет детей	есть дети	нет детей
4	Валюта вклада	UKR	DM	US/UKR	UKR
5	Сумма вклада	1454	3179	1206	1118
6	Процент	25.79%	28.82%	26.02%	20.96%
7	Срок	13 мес.	13 мес.	12 мес.	7 мес.
8	Характер вклада	ежемесячно	в конце срока	в конце срока	ежемесячно
9	Вид вклада	студенческий/детский	сберегательный	пенсионный/студенческий	пенсионный/студенческий
10	Дата открытия счета	15.03.2000	15.03.2000	13.12.1999	03.11.1999
11	Вид рекламы	Радио1/ Радио2	Радио 2/метро	Радио 2/метро	метро
12	Опыт работы с банками	4.94 лет из 7	4.47 лет из 7	5.35 лет из 7	4.59 лет из 7

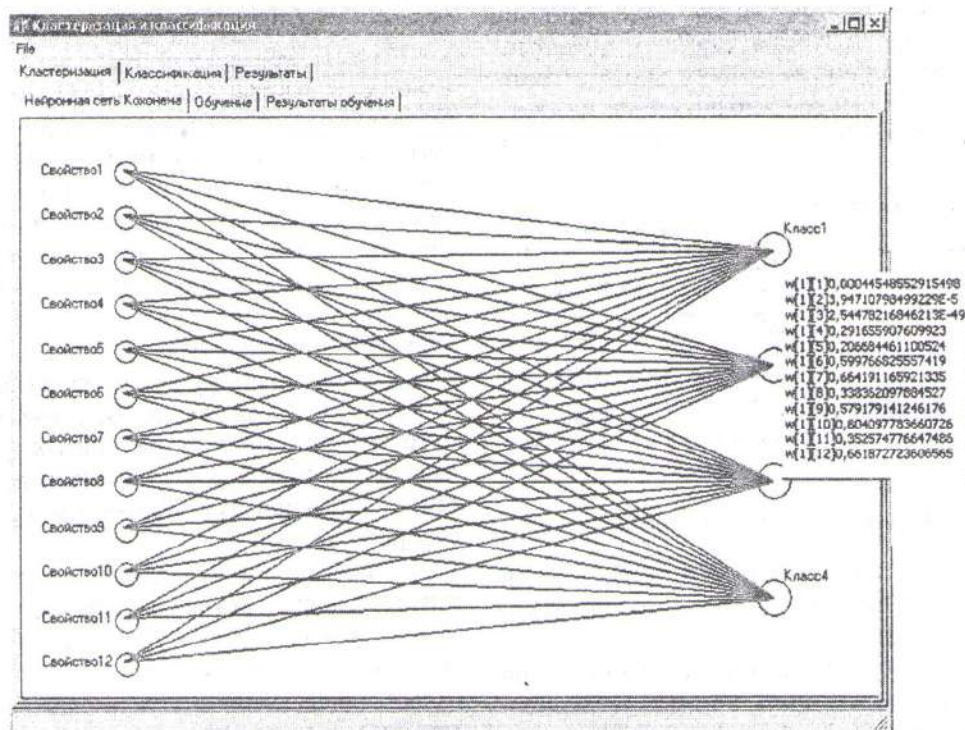


Рис. 1. Топология нейронной сети Кохонена, производящей кластеризацию клиентов

отдельным сегментом рынка банковских услуг кредитования. В соответствии со статистическими характеристиками значений использованных переменных в каждом полученном кластере, предложим следующие названия каждого сегмента:

Сегмент 1 — «клиент ненадежный со средним достатком»;

Сегмент 2 — «клиент ненадежный, обеспеченный»;

Сегмент 3 — «клиент надежный со средним достатком»;

Сегмент 4 — «клиент средней надежности, малообеспеченный».

Вышеперечисленные результаты работы программы после интерпретации и анализа являются

основополагающими данными для предоставления определенных услуг и условий кредитования различным группам клиентов банка.

4. Решение задачи классификации клиентов банка

Задача классификации решалась с помощью сети встречного распространения. Сеть встречного распространения после ее обучения производит классификацию объектов методом интерполяции, что позволяет восстановить данные, скрытые клиентом, но необходимые банку.

В табл. 2 приведен пример результатов классификации нового клиента с определенными характеристиками (столбец 3).

Таблица 2

Свойства центроидов классов

	Свойства	Характеристики нового клиента	Средние значения свойств у сегмента 4
1	2	3	4
1	Пол	муж.	жен./муж.
2	Семейное положение	женат/замужем	холост
3	Дети	есть дети	нет детей
4	Валюта вклада	UKR	UKR
5	Сумма вклада	700	1118
6	Процент	22.79%	20.96%
7	Срок	13 мес.	7 мес.
8	Характер вклада	ежемесячно	ежемесячно
9	Вид вклада	пенсионный	пенсионный/студенческий
10	Дата открытия счета	15.08.1999	03.11.1999
11	Вид рекламы	метро	метро
12	Опыт работы с банками	5 лет	4.59 из 7

После подачи его характеристик на вход НС встречного распространения получено распределение вероятностей принадлежности данного клиента ко всем классам (рис. 2), по значению наибольшей вероятности 37% клиент отнесен к сегменту 4.

Результаты классификации

Класс1	13%
Класс2	28%
Класс3	22%
Класс4	37%

Sex	1.560057075
Fam1	1.636211364
Fam2	1.645796054
Currency	2.374531916
Sum_cf_curr	1251.940917

Рис. 2. Результаты классификации

Средние значения свойств объектов в четвертом сегменте (столбец 4) наиболее точно отражают характеристики данного клиента.

На основании результатов, полученных при классификации, может быть принято решение о возможности предоставления кредита данному клиенту и условий кредитования.

5. Программный продукт

Для решения поставленной задачи был разработан программный продукт, который позволяет производить кластеризацию и классификацию клиентов банка, на основании чего банк может строить свои взаимоотношения с клиентами, улучшать уровень обслуживания.

Для решения задачи сегментации клиентов банка в программе создана возможность изменения выборки входных данных, соответственно сегментация может производиться динамически. При сегментации могут быть использованы различные методы и алгоритмы, т.к. для разных выборок применение разных методов и алгоритмов является более результативным. Удобный интерфейс позволяет просмотреть топологию сети, значения центроидов классов, входные значения и результаты.

При решении задачи классификации, данные о новом клиенте могут быть введены как вручную, так и загружены из файла. Реализована возможность работы нейронной сети встречного распространения как в режиме аккредитации, так и в режиме интерполяции [2], что дает возможность просмотра вероятности принадлежности клиента к каждому из классов.

Программа реализована на языке программирования Object Pascal в среде Delphi 7.

Выводы

В статье предложено решение одной из актуальных задач в сфере автоматизированных банковских систем — задача разработки средств и методов сегментации рынка клиентов банка и анализа кредитоспособности, надежности и перспективности работы с клиентом. Результаты данной работы позволяют предлагать соответствующие условия кредитования каждому конкретному клиенту в соответствии с его характеристиками, возможностями и предпочтениями. Данная задача имеет различные методы решения с использованием различных алгоритмов. Предложенное решение построено на методах искусственных нейронных сетей. Подзадачи были реализованы с помощью нейронных сетей — нейронной сети Кохонена и сети встречного распространения.

Следовательно, в результате данной работы достигнута цель работы: найдены сегменты рынка клиентов банка и произведена классификация новых клиентов. Исходя из цели исследования, были решены следующие задачи исследования: проведен анализ существующих методов сегментации рынка клиентов банка; анализ характеристик клиентов, важных для определения кредитоспособности клиента; анализ существующих методов кластеризации; анализ существующих методов классификации; построена нейросетевая модель; написан программный продукт для проведения эксперимента.

Любая фирма, в том числе и банк, сознает, что ее товары или услуги не могут нравиться сразу всем покупателям. Покупателей слишком много, они отличаются друг от друга своими потребностями и привычками. Каждый банк должен выявить наиболее привлекательные сегменты рынка, которые он в состоянии эффективно обслужить.

Список литературы: 1. Зозулев А.В. Сегментирование рынка. М.: Рыбари, 2003. — 178 с. 2. Горбань А., Россиев Д. Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск: Наука, 1996. — 276 с. 3. Проскурин В.А. // Бизнес и банки. — 2002. — № 30. — С. 11. 4. А.С. Коряк, В.Б. Репка, Т.Б. Шатовская. Нейросетевое сегментирование рынка банковских услуг. // Труды Международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» (IEEE ASI'04) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2004): Научное издание в 3-х томах. М.: Изд-во Физико-математической литературы: Т. 1. 2004. — С. 210–213. 5. Kohonen, T. Self-Organizing Maps, Second Edition, Berlin: Springer - Verlag, 1997. 6. Лесная Н.С., Репка В.Б. Шатовская Т.Б. Интеллектуальный анализ данных. — Харьков: ХНУРЭ, 2003. — 112 с.

Поступила в редколлегию 17.11.2005

УДК 519.71

О.Г. Руденко, М.С. Сныткин, А.Е. Кувшинов

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ АДАПТИВНОГО РЕЗОНАНСА

1. Введение

Классификация является мощным инструментом, используемым для категоризации больших объемов данных. Необходимость в определении категорий возникает, например, тогда, когда требуется установить коды опознавания классов состояний сложных систем или выделить по характерным сходствам различные подмножества из группы данных («data mining»).

Обычно искусственные нейронные сети (ИНС) используют тогда, когда стандартные статистические методы кластеризации не позволяют получить приемлемые результаты при интерпретации заданного набора данных по причине низкой их производительности или завышенных требований к системным ресурсам. В то же время ИНС, следуя своим собственным правилам, могут быть с успехом применены для решения поставленной задачи.

ИНС на основе теории адаптивного резонанса (ART) относит входное изображение к одному из известных классов, если оно в достаточной степени подобно или резонирует с прототипом этого класса. Если найденный прототип с определенной точностью, задаваемой специальным параметром сходства, соответствует входному изображению, то он модифицируется, чтобы стать более похожим на предъявленное изображение. Когда входное изображение недостаточно подобно ни одному из имеющихся прототипов, на его основе создается новый класс. Это возможно благодаря тому, что сеть имеет большое количество избыточных или нераспределенных элементов, которые не используются до тех пор, пока в этом нет необходимости (если нет нераспределенных нейронов, то входное изображение не вызывает реакции сети). Таким образом, новые образы могут создавать новые классы, но не могут искажать запомненную информацию.

Серьезная проблема для ИНС — правильное соотношение стабильности и пластичности при запоминании образов [1].

Существуют наборы эталонов (даже состоящие всего из 4-х векторов), которые при циклическом предъявлении в обучении дают никогда не сходящиеся наборы параметров сети. Предъявление всего одного нового образа в обучающем множестве часто приводит к долгому переобучению. Если сеть работает в реальном времени, например, обрабатывает сенсорную информацию, то обучающее множество может все время меняться. Для большин-

ства моделей ИНС это приводит к отсутствию обучения вообще.

Человеческая память, напротив, эффективно хранит и корректирует запоминаемые образы. Ни предъявление нового образа, ни изменение старых не приводит к уничтожению памяти или невозможности запоминания. Даже удаление части нервной ткани чаще всего не прерывает работу сети и не стирает запомненные образы, а лишь делает их менее четкими.

Сеть ART — попытка приблизить механизм запоминания образов в ИНС к биологическому. Результатом работы ART является устойчивый набор запомненных образов и возможность выборки «похожего» вектора по произвольному предъявленному на входе вектору. Важное качество ART — динамическое запоминание новых образов без полного переобучения и отсутствие потерь уже запомненных образов при предъявлении новых.

Основные свойства сетей ART отражены в ряде теорем [2], наиболее важными из которых являются следующие:

После стабилизации процесса обучения предъявление одного из обучающих векторов (или вектора с существенными характеристиками образа) будет активировать требуемый нейрон слоя распознавания без поиска. Эта характеристика «прямого доступа» определяет быстрый доступ к предварительно изученным образам.

Процесс поиска является устойчивым. После определения нейрона-победителя в сети не будет возбуждения других нейронов в результате изменения векторов выхода слоя сравнения; только сигнал сброса может вызвать такие изменения.

Процесс обучения является устойчивым. Обучение не будет вызывать переключения с одного активированного нейрона слоя распознавания на другой.

Процесс обучения конечен. Любая последовательность произвольных входных векторов будет формировать стабильный набор весов после конечного количества обучающих серий; повторяющиеся последовательности обучающих векторов не будут приводить к циклическому изменению весов.

2. Структура и обучение сетей ART

В зависимости от вида входных переменных и способа их обработки различают следующие модели сетей ART:

- 1) ART 1, использующая двоичные входные векторы;
- 2) ART 2, использующая как двоичные, так и непрерывные векторы входов;
- 3) ART 3, используемая для моделирования биологических процессов;
- 4) ART MAP, представляющая собой комбинацию двух ART-сетей;
- 5) Fuzzy ART, использующая нечеткую логику.

Структура любой сети ART включает слой сравнения $F1$, слой распознавания $F2$, приемник, модули весовых матриц и модуль сброса. Отличительной особенностью сети является то, что непрерывно изменяющийся вектор входных образов $I = (i_1, i_2, \dots, i_m)$ передается в прямом и обратном направлениях (резонирует) между слоями сети.

ART 2 является обобщением сети ART 1, способным обрабатывать как двоичные, так и непрерывные сигналы. Архитектура сети ART 2 аналогична архитектуре сети ART 1, однако нейроны слоя сравнения сети ART 2 имеют более сложную структуру и представляют собой небольшую сеть, состоящую из шести нейронов и служащую буферным устройством.

Начальная обработка в любой сети ART 2 выполняется в модуле, представляющим собой обучающую конкурентную сеть, как показано на рис. 1 [1]. Входные m нейронов слоя $F1$ хранят входной образ $I = (i_1, i_2, \dots, i_m)$. На каждый нейрон выходного слоя $F2$ поступает восходящая сетевая активность t_j , формируемая из всех выходов $S = I$ слоя $F1$. Элементы вектора $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ можно рассматривать как результат сравнений между входным образцом I и прототипами $W_1 = (w_{11}, \dots, w_{1m}), \dots, W_n = (w_{n1}, \dots, w_{nm})$. Эти прототипы являются весами синаптических связей между слоями $F1$ и $F2$. На выходе только одного нейрона J слоя $F2$, получившего наибольшую восходящую сетевую активность t_j , устанавливается единица, на выходах остальных нейронов остаются нули

$$u_j = \begin{cases} 1, & \text{если } I_j > \max(I_k : k \neq j) \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

Одним из возможных путей вычислить сетевую активность t_j и таким образом определить степень сходства между векторами I и W_j , является взвешенная сумма

$$t_j = \sum_{i=1}^m w_{ji} \cdot i_i. \quad (2)$$

Большое влияние величины t_j на результаты классификации привело к возникновению множества вариантов ее определения. После того как определен нейрон J слоя $F2$, победивший в соревнованиях, соответствующий прототип $W_J = (w_{1J}, \dots, w_{mJ})$ адаптируется к входному образу I . Одним из методов подобной адаптации является изменение вектора W_J в соответствии с входным образом I по правилу

$$W_J^{(new)} = \eta \cdot I + (1 - \eta) \cdot W_J^{(old)}, \quad (3)$$

где $\eta \in [0, 1]$ — константа, называемая показателем обучения (предотвращает слишком быстрое изменение прототипа W_J и, как следствие, дестабилизацию процесса обучения).

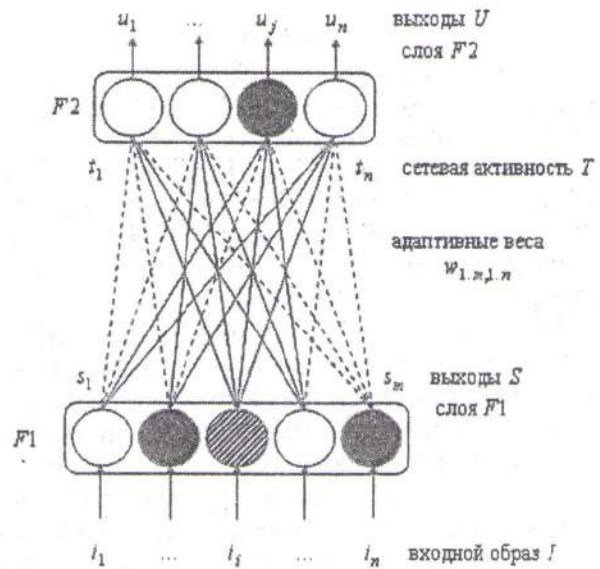


Рис. 1. Обучаемая конкурентная сеть

Прототипы для данной конкурентной сети могут быть инициализированы как случайными величинами, так и значениями из произвольно выбранных входных образов обучающей последовательности.

Обучаемая конкурентная сеть такого типа имеет тенденцию к неустойчивой классификации, когда сходство между входными образами изменяется в слишком широких пределах [3]. К тому же, нет возможности управлять количеством классов создаваемых сетью, или минимальным сходством образов в одном классе. В сетях ART эта проблема решается путем расширения обучаемой конкурирующей сети как это показано на рис. 2. Как видно из рисунка, добавлена обратная связь, объединяющая выход U слоя $F2$ со слоем $F1$. Синаптические нисходящие веса W_{ji} этих связей, кроме возможного коэффициента масштабирования, идентичны восходящим весам W_{ji} . Нисходящая сетевая активность V обычно определяется как

$$v_i = \sum_{j=1}^n u_j \cdot w_{ji} \quad (4)$$

или

$$V = U \cdot W_{ji} = W_J. \quad (5)$$

Поскольку все выходы слоя $F2$, кроме u_j , равны нулю (рис. 2), то входной слой $F1$ получает прототип W_J , который представляет текущий класс J , победивший в соревнованиях. Далее выполняется са-

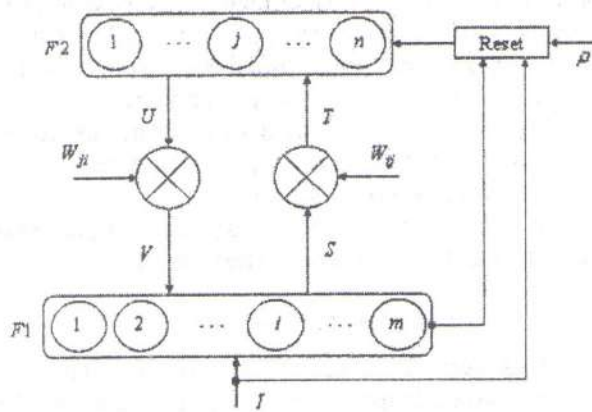


Рис. 2. Упрощенная архитектура сети ART 2

мая сложная в сетях ART 2 часть обработки данных — сравнение прототипа W_j с входным образом I . Минимальное сходство между входным образом и прототипом соответствующего класса задается величиной чувствительности ρ . Если степень совпадения меньше, чем ρ , текущий нейрон-победитель из слоя $F2$ исключается из соревнований сигналом сброса. Сигнал сброса устанавливает активный нейрон j слоя $F2$ в нуль и таким образом дает возможность другому нейрону победить в соревнованиях, тем самым на выходе слоя $F2$ получаем восходящую сетевую активность t_j еще не сброшенных выходных нейронов. Как только будет обнаружен прототип, у которого степень сходства с входным образом I , по крайней мере, такая же как чувствительность ρ , сигнал сброса не возникнет и сеть достигнет резонанса. Позиция последнего нейрона-победителя слоя $F2$ указывает класс входного образа I , после чего происходит адаптация соответствующего прототипа.

Начальная инициализация величин прототипов, с которыми не был связан ни один входной образ, должна удовлетворять двум условиям:

1) прототипы, в которых хранятся прежде сформированные классы, должны участвовать в сравнении с входным образом раньше, чем неиспользованные прототипы.

2) если ни один из сформированных классов не подходит к входному образу достаточно хорошо, поиск заканчивается выбором нефиксированного прототипа.

Алгоритм, используемый для классификации в любом типе сети ART тесно связан с известным алго-

ритмом k -средних [4]. Оба используют по одному прототипу, для представления каждого динамически изменяющегося класса. Алгоритм k -средних разбивает заданный набор входных образов на k групп. Параметр k , таким образом, определяет грубость раздела. В отличие от алгоритма k -средних, ART использует в качестве критерия минимальное требуемое сходство между образами, называемое чувствительностью ρ , которые будут классифицированы в пределах одной группы. Результирующее число k групп, в этом случае, зависит от расстояния (с точки зрения определяющего показателя) между всеми входными образами, представленными в сеть в течение обучающих циклов. Рис. 3 иллюстрирует основные этапы упрощенного алгоритма работы сети ART.

На этапе предварительной обработки создается входной образ как массив с постоянным числом m элементов. ART работает с входным образом фиксированного размера, определяемого размерностью входного пространства, в котором должны быть установлены все кластерные области. Любой из уже сформированных прототипов имеет один и тот же размер m .

Кроме того, элементы входного образа должны удовлетворять различным ограничениям относительно, например, границ входных величин или геометрической длины массива как вектора. Эти огра-

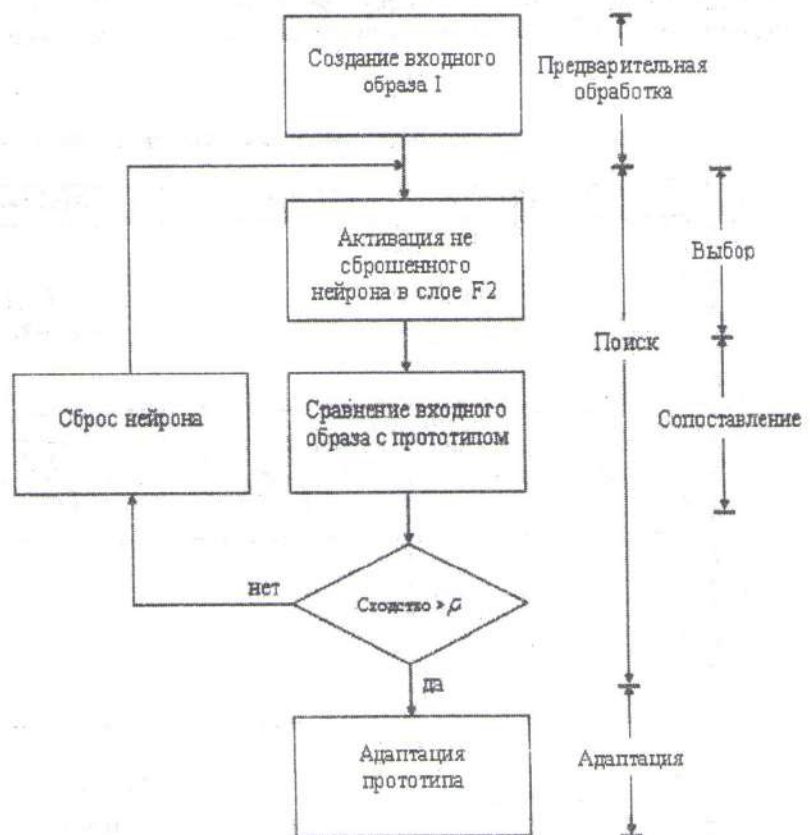


Рис. 3. Обработка входных образов сетью ART

ничения являются характеристиками различных типов сетей ART 2 и позволяют сравнивать входные данные с кластерными прототипами. Как только входной образ будет сформирован, он подается на вход нейронной сети для обработки.

В настоящее время существуют следующие разновидности нейросетей ART 2: ART 2A, ART 2A-C и ART 2A-E. В ряде работ отмечается, что ИНС Fuzzy ART также относится к сетям ART 2, т. к. она обрабатывает как двоичные, так и непрерывные входные вектора.

Сеть ART 2A является базовым и самым простым вариантом реализации сети, но имеет ряд недостатков.

Основной недостаток ART 2A для многих реализаций — потеря всей информации, хранящейся в длине вектора входного образа, поскольку все образы приведены к единичной евклидовой длине. Другими словами, ART 2A не может найти отличия между двумя входными образами A_1 и A_2 , если $A_1 = c \cdot A_2$, где $c > 0$. Используя комплементарное кодирование, вся информация, находящаяся в длине некодированного вектора A , помещается в направление результирующего вектора $I = (A, A^c)$. Данный метод реализован в сети ART 2A-C и используется для расширения возможности распознавания сетями ART 2A сенсорных аналоговых сигналов [5].

Другой вариант сохранить информацию, находящуюся в длине вектора при обработке входных образов в сети ART 2A, состоит в замене показателя

расстояния ART 2A, евклидовой мерой сходства и исключения нормализации длины входных образов на этапе предварительной обработки и адаптации. Это вариант реализован в сети ART 2A-E.

В сети Fuzzy ART для повышения помехоустойчивости на всех этапах обработки используются операторы нечеткой логики.

В табл. 1 представлены основные этапы обработки для описанных выше нейронных сетей.

3. Моделирование

В качестве данных для исследования использовалась база образов животных, состоящая из 100 животных, каждое из которых, обладая 16 свойствами, относится к одному из 7 классов (млекопитающие, птицы, пресмыкающиеся, рыбы, земноводные, насекомые, ракообразные). Эта база создана Richard Forsyth и доступна всем желающим [6].

Таблица базы данных (БД) содержит 16 полей, описывающих различные признаки, и одно поле, определяющее класс, к которому принадлежит образ. Поля признаков следующие:

- 1) hair. Имеет ли животное шерсть. Возможные значения: {0, 1};
- 2) feathers. Имеет ли животное перья. Возможные значения: {0, 1};
- 3) eggs. Откладывает ли животное яйца. Возможные значения: {0, 1};
- 4) milk. Кормит ли животное детей молоком. Возможные значения: {0, 1};

Таблица 1

Основные этапы обработки образов в сетях ART

	Fuzzy ART	ART 2A-C	ART 2A-E	ART 2A
Предобработка	$I = (A, A^c)$ $a_i \in [0, 1] \forall i$		$I = A$ $a_i \in [0, 1] \forall i$	$I = \frac{A}{\ A\ } = \mathcal{N}(A)$ $a_i \geq 0 \forall i$ $\ A\ > 0$
Выбор	$\rho \leq \frac{ I \wedge W_j }{ W_j }$	$t_j = \frac{I \cdot W_j}{\ I\ \cdot \ W_j\ }$	$t_j = 1 - \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (i_i - w_{ji})^2}$	$t_j = I \cdot W_j$
Сопоставление	$\rho \leq \frac{ I \wedge W_j }{ I }$		$\rho \leq t_j$	
Адаптация	$W_j^{(new)} =$ $= \eta \cdot (I \wedge W_j^{(old)}) +$ $+(1 - \eta) \cdot W_j^{(old)}$		$W_j^{(new)} = \eta \cdot I +$ $+(1 - \eta) \cdot W_j^{(old)}$	$W_j^{(new)} = \mathcal{N}(\eta \cdot I +$ $+(1 - \eta) \cdot W_j^{(old)})$

5) airborne. Способно ли животное летать. Возможные значения: {0, 1};

6) aquatic. Обитает ли животное в воде. Возможные значения: {0, 1};

7) predator. Хищное ли животное. Возможные значения: {0, 1};

8) toothed. Имеет ли животное зубы. Возможные значения: {0, 1};

9) backbone. Имеет ли животное позвоночник. Возможные значения: {0, 1};

10) breathes. Дышит ли животное. Возможные значения: {0, 1};

11) venomous. Ядовито ли животное. Возможные значения: {0, 1};

12) fins. Имеет ли животное плавники. Возможные значения: {0, 1};

13) legs. Количество конечностей у животного. Возможные значения: {0, 2, 4, 6, 8};

14) tail. Имеет ли животное хвост. Возможные значения: {0, 1};

15) domestic. Домашнее ли животное. Возможные значения: {0, 1};

16) catsize. Сравнимо ли животное по размеру с кошкой. Возможные значения: {0, 1}.

Некоторые из полей базы данных позволяют почти однозначно идентифицировать класс (например, наличие свойства milk говорит о том, что это животное — млекопитающее). Другие — дают лишь косвенные данные (например, catsize).

В базу данных занесены следующие классы:

- 1) млекопитающие (наиболее многочисленный класс, содержит 41 представителя);
- 2) птицы (21 представитель);
- 3) пресмыкающиеся (5 представителей);
- 4) рыбы (13 представителей);
- 5) земноводные (3 представителя);
- 6) насекомые (8 представителей);
- 7) ракообразные (10 представителей).

Особенностью этой БД является то, что некоторые животные трудно дифференцируемы: например, дельфин должен быть отнесен к млекопитающим, несмотря на сходство с рыбами. Класс ракообразных состоит из очень сильно различающихся между собой животных, которые зачастую не имеют между собой ничего общего (червяк и краб). База использовалась в исходном виде, но более корректно с точки зрения биологии было бы разделить класс ракообразных, не являющихся таковыми, на несколько других классов.

Для исследования особенностей работы сетей ART была разработана программа, способная обучаться на тестовом наборе данных, и классифицировать эти данные, используя различные значения параметров. При обучении образы многократно подавались на вход нейронной сети в случайном порядке. Результаты классификации на основе различных сетей ART 2 приведены в табл. 2–5.

Таблица 2

Результаты классификации на основе сети ART 2A

Параметры		n	Распознаны неверно
ρ	η		
0.67	0.253	7	Дельфин и морская свинья были оторваны от млекопитающих и примкнули к рыбам. Черепаха отнесена к птицам. Ракообразные разделены на 3 группы: — червяк, личинка; — скорпион; — моллюск, краб, лангуст, омар, осьминог. Земноводные и пресмыкающиеся объединены
0,693	0,182	8	Дельфин и морская свинья были оторваны от млекопитающих и примкнули к рыбам. Черепаха отнесена к птицам. Ракообразные разделены на 3 группы: — червяк, личинка; — скорпион; — моллюск, краб, лангуст, омар, осьминог
0,717	0,308	11	Черепаха отнесена к птицам. Ракообразные разделены на 3 группы: — червяк, личинка; — скорпион; — моллюск, краб, лангуст, омар, осьминог. Млекопитающие разделены на 2 группы

Таблица 3

Результаты классификации на основе сети ART 2A-C

Параметры		n	Распознаны неверно
ρ	η		
0.67	0.253	8	Утконос отделен от млекопитающих и выделен в отдельный класс. Черепаха отнесена к птицам. Ракообразные разделены на 3 группы: — червяк, личинка; — скорпион; — моллюск, краб, лангуст, омар, осьминог
0,693	0,182	7	Черепаха отнесена к птицам. Ракообразные разделены на 3 группы: — червяк, личинка; — скорпион; — моллюск, краб, лангуст, омар, осьминог. Земноводные и пресмыкающиеся объединены
0,717	0,308	12	Черепаха отнесена к птицам

Таблица 4
Результаты классификации на основе сети ART 2A-E

Параметры		n	Распознаны неверно
ρ	η		
0.78	0.331	8	Морская змея была оторвана от млекопитающих и примкнула к рыбам. Черепаша отнесена к птицам. Ракообразные разделены на 3 группы: — червяк, личинка; — скорпион; — моллюск, краб, лангуст, омар, осьминог
0,722	0,331	7	Морская змея была оторвана от млекопитающих и примкнула к рыбам. Черепаша отнесена к птицам. Ракообразные разделены на 3 группы: — червяк, личинка; — скорпион; — моллюск, краб, лангуст, омар, осьминог. Земноводные и пресмыкающиеся объединены
0,811	0,394	9	Черепаша отнесена к птицам

Таблица 5
Результаты классификации на основе сети Fuzzy ART

Параметры		n	Распознаны неверно
ρ	η		
0.289	0.253	8	Червяк и личинка отнесены к насекомым
0,324	0,292	7	Осьминог и пингвин выделены в отдельный класс. Скат и гремучая змея выделены в отдельный класс
0,717	0,284	13	Черепаша отнесена к птицам. Скат и гремучая змея выделены в отдельный класс

4. Выводы

Как показали исследования, сети ART2 вполне пригодны для задач классификации, эффектив-

ность решения которых зависит от расстояния между классами. Из приведенных таблиц видно, что основные проблемы возникли с классификацией класса членистоногих, т. к. его некоторые его члены различаются между собой очень сильно, и с биологической точки зрения членистоногими не являются. При увеличении числа классов до 9, сеть ART 2A-E классифицировала остальные классы корректно, а членистоногих разбила на 3 класса. Другие сети ART 2A показали сходные, хотя и не так ярко выраженные результаты — разделению подвергались и другие классы животных. Кроме того, ошибки возникали в случаях с водоплавающими млекопитающими (дельфин, морская свинья, морская змея) и черепахой (все сети относили ее к птицам). Следует отметить, что при использовании сети Fuzzy ART количество ошибок классификации значительно уменьшилось. В целом, кардинальных различий между результатами для различных сетей не наблюдается.

Большое влияние на результат имеют значения параметров сходства ρ и адаптации η , используемые при обучении сети. Очевидно, разработка формальных методов определения оптимальных значений этих параметров представляет собой важную проблему, на решение которой должны быть направлены основные усилия исследователей.

Список литературы: 1. Горбань А.Н. и др. Нейроинформатика. — Электронная публикация. 2. G. A. Carpenter and S. Grossberg. ART 2: Self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns // Appl. Opt. — 1987. vol. 26, 23, P. 4919—4930. 3. G. A. Carpenter. The art of adaptive pattern recognition by a self-organizing neural network // IEEE Computer. — Mar. 1987. P. 88. 4. Carpenter G., Grossberg S. ART 3: Hierarchical Search Using Chemical Transmitters in Self-Organizing Pattern Recognition Architecture // Neural Networks. — 1990. — 3. — P. 129—152. 5. J. R. Whitely, J. F. Davis, A. Mehrotra, and S. C. Ahalt. Observations and problems applying ART2 for dynamic sensor pattern interpretation // IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. — 1996. vol. 26. P. 423—437. 6. <http://www.aialab.si/orange/doc/datasets/zoo.htm>.

Поступила в редколлегию 28.09.2005

УДК 004.93:007.52

А.В. Волик, С.Н. Герасин, Е.В. Слипченко

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СРЕДНЕГО УРОВНЯ И ДИСПЕРСИИ АКТИВНОСТИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ЛОКАЛЬНЫМИ СВЯЗЯМИ

1. Введение

Синтез математических методов и подходов, а именно: математического моделирования, теории информации, формальных нейронных сетей и нейробиологии породил новое научное направление — вычислительные нейронауки, общей идеей которого является тезис «изучение через моделирование» [1].

При этом в имитационных экспериментах на моделях, аккумулирующих тот или иной набор известных параметров и свойств реальных нейронов, воспроизводятся некоторые особенности их активности, анализируются возможные механизмы и формулируются предположения, доступные экспериментальной проверке. Одним из направлений исследований в данной области является изучение организации нейронных структур как многомерных рекуррентных сетей и определение влияния свойств отдельных клеток на динамику активности и свойства всей сети. В работе [2] описан критический режим функционирования нейронной сети, состоящей из вероятностных возбуждающих элементов с локальными связями, получаемый с помощью имитационного моделирования на ЭВМ. Суть этого режима состоит в том, что для некоторого диапазона изменения параметров взаимодействия элементов сети, начальная конфигурация «горящих» элементов сохраняется длительное время, на несколько порядков превышающее время релаксации отдельного элемента. В работах [3, 4] обсуждаются вопросы применимости полученного режима для моделирования гиппокампа и объяснения кратковременной памяти.

Цель работы — нахождение и исследование динамических характеристик стохастической нейронной сети, по которым можно оценить поведение сети в целом.

Задачи исследования состоят в выводе и качественном анализе уравнений для средней активности и дисперсии активности нейронной сети и выявлении возможных критических режимов.

2. Уравнения динамики макрохарактеристик сети с локальными связями

На уровне макроподхода к моделированию поведения нейронной сети, критический режим характеризуется наличием метастабильного состояния среднего уровня активности (из одних и тех же начальных условий различные траектории эволюционируют либо к верхнему уровню, либо к нижне-

му уровню стационарной активности, но средний, по множеству траекторий, уровень активности остается постоянным) и неограниченным ростом дисперсии [2, 4]. Для моделирования критического поведения нейронной сети с локальными связями рассмотрим две макрохарактеристики: $E(t)$ — средний уровень активности сети и $z(t)$ — дисперсия среднего уровня активности, которые удовлетворяют системе уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = -E + S(aE) + \frac{S''(aE)}{2} a^2 z, \\ \frac{dz}{dt} = -2z(1 - aS'(aE)). \end{cases} \quad (1)$$

В работе [3] рассматривалась нейронная сеть с локальными связями. Для этой сети из обратного уравнения Колмогорова была получена следующая система

$$\begin{cases} \frac{dq_i(t)}{dt} = -q_i(t) + M\{c_i(y)\}, \\ \frac{dR_{ij}^0(t)}{dt} = -2R_{ij}^0 + M\{y_j c_i(y)\} + M\{y_i c_j(y)\}, \end{cases} \quad (2)$$

где $y(t) = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ — вектор, описывающий поведение элементов сети; $q_i(t) = M\{y_i(t)\}$ — среднее значение переменной, характеризующей поведение i -го элемента; $R_{ij}^0(t) = M\{y_i(t)y_j(t)\}$ — среднее от произведения характеристик i -го и j -го элементов.

Пусть T_{ij} — ковариация характеристик i -го и j -го элементов

$$T_{ij} = M\{(y_i - q_i)(y_j - q_j)\} = R_{ij} - q_i q_j.$$

Отсюда

$$R_{ij} = T_{ij} + q_i q_j.$$

Дифференцируя по t и учитывая (1), получим уравнение для T_{ij}

$$\begin{aligned} \frac{dT_{ij}}{dt} = & -2T_{ij} - q_i M\{c_j(y)\} - q_j M\{c_i(y)\} + \\ & + M\{y_i c_j(y) + y_j c_i(y)\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Предположим, что $c_i(y)$ имеет следующий вид:

$$c_i(y) = S_E\left(\sum_j a_{ij} y_j\right),$$

где S_E — сигмоидная функция.

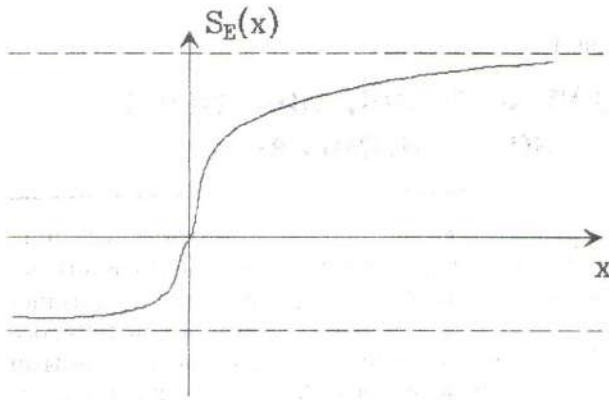


Рис. 1. График активационной функции $S_E(x)$

Обозначим

$$\xi_i = \sum_j a_{ij} y_j, \quad V_i = M(\xi_i),$$

тогда $h = \xi_i - V_i$ — отклонение случайной величины ξ_i от среднего значения.

Разложим функцию C_i в ряд Тейлора по h :

$$c_i(h) = S(V_i + h) = S(V_i) + S'(V_i)h + \frac{S''(V_i)}{2}h^2 + \dots$$

Здесь будем предполагать, что

$$\|h\| = \sqrt{\int (\xi_i - V_i)^2 dP_i}$$

мало. Найдем математическое ожидание $c_i(y)$:

$$M\{c_i(y)\} = S(V_i) + \frac{S''(V_i)}{2}M\{(\xi_i - V_i)^2\} + \dots$$

Вычислим $M\{(\xi_i - V_i)^2\}$:

$$\begin{aligned} M\{(\xi_i - V_i)^2\} &= M\left\{\left[\sum_j a_{ij}(y_j - q_j)\right]^2\right\} = \\ &= M\left\{\sum_j \sum_k a_{ij}a_{ik}(y_j - q_j)(y_k - q_k)\right\} = \\ &= \sum_j \sum_k a_{ij}a_{ik}T_{jk}. \end{aligned}$$

Тогда

$$M\{c_i(y)\} = S\left(\sum_j a_{ij}q_j\right) + \frac{S''(V_i)}{2} \sum_j \sum_k a_{ij}a_{ik}T_{jk} + \dots$$

Подставляя полученное равенство в первое уравнение (1) и отбрасывая члены выше второго порядка, получим уравнение для $q_i(t)$:

$$\frac{dq_i}{dt} = -q_i + S\left(\sum_l a_{il}q_l\right) + \frac{S''\left(\sum_l a_{il}q_l\right)}{2} \sum_k \sum_l a_{ik}a_{il}T_{lk}.$$

Чтобы получить уравнение для T_{ij} , вычислим $M\{y_j c_i\} - q_j M\{c_i\}$.

$$\begin{aligned} M\{y_j c_i\} - q_j M\{c_i\} &= M\{(y_j - q_j)c_i(y)\} = \\ &= M\{(y_j - q_j)(S(V_i) + S'(V_i)h + \dots)\} = \\ &= S'(V_i)M\left\{(y_j - q_j)\left(\sum_k a_{ik}(y_k - q_k)\right)\right\} = \\ &= S'(V_i)\sum_k a_{ik}T_{jk} + \dots \end{aligned}$$

Подставляя полученное выражение в уравнение (3) и отбрасывая члены выше первого порядка, получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для описания динамики активности и дисперсии активности каждого элемента сети, а также взаимные ковариации активностей элементов

$$\begin{cases} \frac{dq_i}{dt} = -q_i + S\left(\sum_l a_{il}q_l\right) + \frac{S''\left(\sum_l a_{il}q_l\right)}{2} \sum_{k,l} a_{il}a_{lk}T_{lk}, \\ \frac{dT_{ij}}{dt} - 2T_{ij} + S'\left(\sum_l a_{il}q_l\right) \sum_k a_{ik}T_{jk} + S'\left(\sum_l a_{jl}q_l\right) \sum_k a_{jk}T_{ik}. \end{cases} \quad (4)$$

Чтобы получить уравнения для макрохарактеристик сети, предположим, что средняя активность E и дисперсия активности Z всей сети подчиняются тем же уравнениям, что и характеристики некоторого типичного среднего нейрона, поэтому в системе (1) положим $N=1$ и обозначим

$$E(t) = q_1; \quad Z(t) = T_{11}; \quad a = a_{11},$$

тогда

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = -E + S(aE) + \frac{S''(aE)}{2}a^2Z, \\ \frac{dZ}{dt} = -2Z(1 - aS'(aE)). \end{cases} \quad (5)$$

Аналогичный подход к получению уравнений для макрохарактеристик сети применялся в работе [5]. Для описания активности совокупности возбуждающих и тормозных нейронов там использовалась система дифференциальных уравнений типа системы Ходжкина-Хаксли, полагая, что она описывает динамику активности некоторого типичного нейрона, представляющего средние характеристики совокупности. При этом основное внимание было уделено переходам сети в периодический режим и роли пейсмекерных нейронов в этом процессе.

3. Качественное исследование системы уравнений для макрохарактеристик. Сравнение с имитационной моделью

Проведем качественное исследование системы (5) и сравним с результатами имитационного моделирования [6]. Предположим, что функция $S(x)$ имеет вид

$$S(x) = \frac{1}{1 + \exp[-b(x - \theta)]} - \frac{1}{1 - \exp[b\theta]}$$

и обладает следующими свойствами:

а) $S(0) = 0$;

б) $S(\infty) = \frac{\exp[b\theta]}{1 + \exp[b\theta]}$;

в) $S'(x) = \frac{b \exp[-bx + b\theta]}{(1 + \exp[-bx + b\theta])^2}$;

г) $S''(x) = \frac{b^2 \exp[-bx + b\theta](\exp[-bx + b\theta] - 1)}{(1 + \exp[-bx + b\theta])^3}$;

д) $\max_x S'(ax) = \frac{b}{4}$ при $x = \frac{\theta}{a}$.

Функция $S(x)$ характеризует отклик нейронной сети на поступившее воздействие $x(t)$ и зависит от двух параметров b и θ , причем параметр θ пропорционален величине эффективного порога сети, а параметр b характеризует степень распределенности порогов у элементов сети.

Заметим, что все бифуркации, возможные в системе (5), зависят от параметра a , характеризующего величину связи между элементами. Изменение параметров b и θ не влияет на качественный характер происходящих перестроек. Поэтому в качестве изменяемого параметра мы будем рассматривать параметр a , считая, что b и θ фиксированы.

Найдем стационарные состояния системы (5), для этого рассмотрим систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} -E + S(aE) + \frac{S''(aE)}{2} a^2 Z = 0, \\ 2Z(1 - aS'(aE)) = 0. \end{cases}$$

Эта система эквивалентна двум системам уравнений, дающим две серии решений:

$$\begin{cases} Z = 0, \\ S(aE). \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} aS'(aE) = 1, \\ Z = 2 \frac{E - S(aE)}{a^2 S''(aE)}. \end{cases} \quad (7)$$

При анализе систем удобна геометрическая интерпретация. Решениями второго уравнения системы (6) являются точки пересечения графиков $f(E) = S(aE)$ и $f(E) = E$. Решениями первого уравнения системы (7) являются такие значения E , при которых касательные к графику функции $f(E) = S(aE)$ параллельны прямой $f(E) = E$.

Для определения устойчивости стационарных состояний рассмотрим матрицу линеаризации системы (5):

$$A = \begin{pmatrix} -1 + aS'(aE) + \frac{S''(aE)}{2} a^2 Z & \frac{S''(aE)}{2} a^2 \\ 0 & 2(-1 + aS'(aE)) \end{pmatrix}.$$

Для стационарных решений, определяемых системой (2), т. е. решений вида $(E_0, 0)$, матрица принимает вид:

$$A = \begin{pmatrix} -1 + aS'(aE_0) & \frac{S''(aE_0)}{2} a^2 \\ 0 & 2(-1 + aS'(aE_0)) \end{pmatrix}.$$

Отсюда находим собственные значения

$$\lambda_1 = -1 + S'(aE_0), \quad \lambda_2 = 2\lambda_1.$$

Для стационарных решений, определяемых системой (6), матрица A принимает вид:

$$A = \begin{pmatrix} S'''(aE)a(E - S(aE)) & \frac{S''(aE)}{2} a^2 \\ 4(E - S(aE)) & 0 \end{pmatrix}.$$

Определитель этой матрицы Δ равен произведению собственных значений и позволяет судить об устойчивости стационарных состояний.

$$\Delta = -2(E - S(aE))a^2 S''(aE).$$

Диапазон изменения параметра a разбивается на четыре участка (b и θ фиксированы), в соответствии с этим рассмотрим четыре случая, для каждого из которых дадим описание фазового портрета.

Случай 1. $0 < \alpha < \alpha_1$. В этом случае существует единственное стационарное состояние (устойчивое) $E=0, Z=0$, к которому эволюционируют все траектории системы. При $\alpha = \alpha_1$ происходит бифуркация и из бесконечности рождаются два стационарных состояния: E_Λ, Z_Λ и E_Π, Z_Π , причем $E_\Lambda \xrightarrow{\alpha \uparrow \alpha_1} \infty$, а $Z_\Pi \xrightarrow{\alpha \uparrow \alpha_1} -\infty$. (В момент бифуркации

касательная к графику $f(E) = S(aE)$ становится параллельной прямой $f = E$.

Случай 2. $\alpha_1 < \alpha < \alpha_2$. В этом случае в полуплоскости $Z > 0$ существует неустойчивое (седловое) стационарное решение. При $\alpha = \alpha_2$ происходит сложная бифуркация, в результате которой рождаются три стационарных состояния: на оси $Z = 0$ устойчивое и неустойчивое состояния и в полуплоскости $Z > 0$ седловой стационар. (В момент бифуркации происходит касание графиков функций $f(E) = S(aE)$ и $f(E) = E$).

Случай 3. $\alpha_2 < \alpha < \alpha_3$. В этом случае в полуплоскости $Z \geq 0$ существуют пять стационарных состояний: два устойчивых и одно неустойчивое на оси $Z = 0$ и два седловых при $Z > 0$. При $\alpha = \alpha_3$ происходит бифуркация слияния седла (E_A, Z_A) с устойчивым узлом $(E = 0, Z = 0)$ и неустойчивым узлом на оси E ; при увеличении a сложная точка опять распадается на три стационарных решения. (В момент бифуркации происходит касание графиков функций $f(E) = S(aE)$ и $f(E) = E$ в точке $E = 0$).

Случай 4. $a > a_3$. В этом случае опять существуют 5 стационарных решений и фазовый портрет аналогичен случаю 3, но теперь одно устойчивое и одно седловое стационарные состояния переместились в квадрант $E < 0, z \geq 0$.

Перейдем теперь к сравнению результатов качественного исследования и имитационного моделирования [6]. Покажем, как можно объяснить возникновение критического режима, наблюдаемого на имитационной модели.

Предположим, что наша система всегда начинает эволюционировать из одних и тех же начальных условий $(E(0), Z(0))$. Проследим изменение финальных состояний траектории, выходящей из одной точки, при увеличении параметра связи a . При малых значениях параметра a траектория будет стремиться к состоянию фоновой активности $(E(0), Z(0))$. При увеличении параметра a неустойчивый стационар и оба седла будут сдвигаться влево и при $\alpha \approx \alpha_{кр}^1$ сепаратриса седла (E_d, Z_d) пройдет вблизи зафиксированной нами начальной точки $(E(0), Z(0))$. При этой величине связи система будет длительное время эволюционировать к своему стационарному состоянию, поскольку траектория системы пройдет вблизи седла и надолго задержится в его окрестности. При $\alpha_{кр}^1 < \alpha < \alpha_{кр}^2$ траектория, идущая из начальной точки, вообще не попадает в стационар $(E = 0, Z = 0)$, т. к. попадает в область между сепаратрисами седел и переменная Z будет неограниченно возрастать, а E будет принимать некоторое промежуточное значение. При $\alpha > \alpha_{кр}^2$ траектория, идущая из начальной точки, будет стремиться к стационарному состоянию $(E_0, 0)$, соответствующему ВУ активности.

На рис. 2 и 3 приведены графики зависимостей $E(t)$ и $Z(t)$ при различных значениях параметра α .

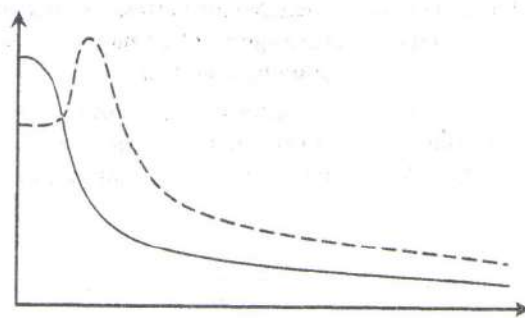


Рис. 2. График зависимости дисперсии и среднего уровня активности при $\alpha < \alpha_{кр}^1$ (----- $E(t)$, — $Z(t)$)

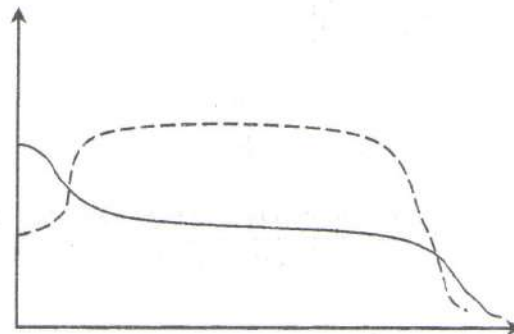


Рис. 3. График зависимости дисперсии и среднего уровня активности при $\alpha \approx \alpha_{кр}^1$ (----- $E(t)$, — $Z(t)$)

Описанная ситуация, которая объясняет возникновение критического режима, диапазон изменения параметра $\alpha_{кр}^1 < \alpha < \alpha_{кр}^2$, является критическим для данного начального уровня активности сети $(E(0), Z(0))$ и фиксированных b и θ . Переход в критический режим связан с увеличением времени приближения к стационарному состоянию. В имитационной модели это соответствует длительному сохранению конфигурации начально активных элементов, что в свою очередь позволяет моделировать кратковременную память. Начальное «пятно» активных элементов как бы «раздумывает» — погаснуть или разгореться. И в зависимости от результата этих длительных «раздумий» оно либо затухает до фоновой активности, либо разгорается до ВУ активности. При этом средний, по множеству реализаций, уровень активности остается промежуточным, а дисперсия растет. Важно подчеркнуть, что критический режим, как в случае имитационного моделирования, так и в системе (7), сохраняется для целого интервала изменения параметра взаимодействия $\alpha \in (\alpha_{кр}^1, \alpha_{кр}^2)$.

В заключение приведем асимптотическую формулу больших времен релаксации при приближении к критическому режиму. Предположим, что значение параметра α близко к $\alpha_{кр}^1$ ($\alpha < \alpha_{кр}^1$). Тогда траектория, идущая от точки $(E(0), Z(0))$, будет

проходить вблизи сепаратрисы седла, и, следовательно, время τ , которое она будет проводить в окрестности седла, будет увеличиваться по мере приближения α к $\alpha_{кр}^1$. Известно, что асимптотическая формула для τ имеет вид:

$$\tau(\delta) \approx \frac{1}{\mu} \ln \frac{1}{\delta},$$

где δ — расстояние от начальной точки до сепаратрисы (малый параметр); μ — положительное собственное значение седла (μ может обращаться в ноль при $\alpha = \alpha_2$ и $\alpha = \alpha_3$).

Выводы

Дано математическое описание возникновения критического режима в сети из возбуждающих элементов с локальными связями. Для этого получена система двух уравнений, описывающая динамику среднего и дисперсии уровня активности сети. Показано, что критический режим существует в целой области изменения параметров и характеризуется «метастабильностью» среднего уровня активности и большой дисперсией. Критический режим — основа для моделирования кратковременной памяти.

Проведено полное двухпараметрическое качественное исследование системы уравнений, описывающих динамику активности сети из возбужда-

ющих и тормозных элементов со связями типа «все на всех». Получено семь режимов функционирования сети. На плоскости параметров указаны границы, разделяющие различные режимы. Получено хорошее соответствие модельных исследований с экспериментальными данными.

Данные исследования могут использоваться как при анализе динамики реальных и искусственных нейронных сетей, так и для исследования некоторых механизмов памяти.

Список литературы: 1. Интеллектуальные процессы и их моделирование. — М.: Мир, 1987. 2. Волик А. В., Герасин С. Н. / Модели динамики нейронной сети с коллективными эффектами // Бионика интеллекта. — 2005. — № 2 (62). — С. 79–82. 3. Коваленко Е. И., Крюков В. И., Борисюк Р. М., Борисюк Г. Н., Кириллов А. Б. Нейронная память: имитационная модель поля СА₃ гиппокампа. — В сб.: Взаимодействующие марковские процессы и их применение к математическому моделированию биологических систем. — Пушкино, 1982. С. 77–107. 4. Крюков В. И. Марковские процессы взаимодействия и нейронная активность. — В сб.: Взаимодействующие марковские процессы в биологии. Пушкино, 1977. — С. 127–145. 5. Кащенко С. А., Майоров В. В. Об одном дифференциально-разностном уравнении, моделирующим импульсную активность нейрона // Математическое моделирование. — 1993. — Т. 5. — № 12. — С. 13–25. 6. Майоров В. В., Мышкин И. Ю. Математическое моделирование нейронов сети на основе уравнений с запаздыванием // Математическое моделирование. — 1990. — Т. 2. — № 11. — С. 64–76.

Поступила в редколлегию 13.09.2005

О.В. Канищева, Сайед Мохаммад Таухид Сиддики, Н.В. Шаронова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ DATA MINING И TEXT MINING ДЛЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

1. Введение, актуальность работы

В начале XXI столетия информация становится одним из наиболее значимых стратегических ресурсов, оказывающих решающее воздействие на развитие общества. Электронная информация играет все большую роль во всех сферах жизни современного общества. В информационных хранилищах, распределенных по всему миру, собрано огромное количество текстовых данных. Накопление информационных ресурсов Интернет многократно усугубило проблему информационной перегрузки. Сырые неструктурированные данные составляют не менее 90% информации, с которой имеют дело пользователи. Найти в таких данных нечто ценное можно лишь посредством специализированных технологий.

Перспективным в настоящее время является использование моделей и методов новой информационной технологии, базирующейся на результатах, полученных при решении проблем искусственного интеллекта. Несмотря на достигнутые в последние десятилетия результаты в области моделирования интеллекта, вопросы семантической обработки текстовой информации все еще не достаточно изучены. Доступность методов записи и хранения данных привели к бурному росту объемов хранимых данных. Объемы данных настолько внушительны, что человеку просто не по силам проанализировать их. Хотя необходимость проведения такого анализа вполне очевидна, ведь в этих «сырых данных» заключены знания, которые могут быть использованы при принятии решений.

Для обработки этих «сырых данных» в последнее время появились решения, известные под общим названием «Data mining». Эти решения позволяют обнаруживать при помощи математических методов (моделирование, прогнозирование, кластеризация, классификация и т.д.) ранее неизвестные нетривиальные практически полезные и доступные для интерпретаций новые знания. С появлением Интернета, систем электронного документооборота и проблем с выработкой стандартов для документации все большее количество информации стало храниться в текстовом виде. Это привело к появлению решений для обработки текстовой информации — Text mining. Такие системы осуществляют при помощи лингвистических методов следующие действия: тематический поиск в текстах, классификация документов, ответ на запросы, тематическое индексирование документов,

поиск по ключевым словам, выявление объектов и связей между ними, реферирование и т.д. Технологии Text Mining как раз и предназначены для проведения смыслового анализа, обеспечения навигации и поиска в неструктурированных текстах. Применяемые на их основе системы, пользователи смогут получить новую ценную информацию — знания.

Технология глубинного анализа текста — Text Mining — это тот самый инструментарий, который позволяет анализировать большие объемы информации в поисках тенденций, шаблонов и взаимосвязей, способных помочь в принятии стратегических решений. Кроме того, Text Mining — это новый вид поиска, который в отличие традиционных подходов не только находит списки документов, формально релевантных запросам, но и обеспечивает достаточно высокий уровень анализа с целью принятия эффективного решения.

Процесс осмысленного поиска является далеко не тривиальным, часто в коллекции документов присутствует только намек на необходимую информацию. Необходимы мощные интеллектуальные возможности, чтобы найти то, что требуется. В названии технологии слово «mining» (добыча руды) выступает как метафора нахождения глубоко «закрытой» информации [1].

Следует заметить, что технологии глубинного анализа текста исторически предшествовала технология добычи данных (Data Mining), методология и подходы которой широко используются и в методах Text Mining. Технологии Text Mining, кроме того, присуща объективность — отсутствует субъективизм, свойственный человеку-аналитику. Важный компонент технологии Text Mining связан с извлечением из текста его характерных элементов или свойств, которые могут использоваться в качестве метаданных документа, ключевых слов, аннотаций, для оформления документации. Другая важная задача состоит в отнесении документа к некоторым категориям из заданной схемы их систематизации. Text Mining также обеспечивает новый уровень семантического поиска документов.

2. Постановка задачи

В данной статье рассматриваются современные подходы к методам обработки информационных потоков с целью извлечения знаний по технологии Data Mining в отрасли Text Mining. Ставится задача исследования методологий в сфере применения Text

Mining, выделяется специфика современных требований к эффективной интеллектуальной переработке данных. Анализируются проблемы, которые неудовлетворительно решаются существующими методами предварительной обработки и доступа к большим объемам информации, рассматриваются особенности различных информационно-поисковых систем и средств извлечения знаний. Большое внимание уделено новому направлению обработки текстовой информации — «глубинному анализу текстов» (Text Mining), объединяющему в себе технологические и методологические подходы компьютерной лингвистики и искусственного интеллекта.

3. Информационный поиск в автоматизированных информационных библиотечных системах

Современное общество переживает этап информационной революции. Научные библиотеки сосредотачивают в себе сконцентрированные и систематизированные знания и обеспечивают доступ к ним.

Наличие знаний, их накопление при отсутствии современной системы классификации, обработки, поиска и предоставления информационных услуг приводят к информационному кризису.

Можно выделить следующие направления создания систем доступа к информации:

- разработка дружественных интерфейсов интерактивного и почтового взаимодействия, ориентированных на конечных пользователей;
- представление стратегии навигации и поиска в форме, адекватно отражающей предметно-смысловую образ знаний;
- создание систем навигации и поиска, адаптируемых под конечного пользователя с применением систем классификации и систематизации;
- представление результатов поиска за «комфортное» время и в форме, обеспечивающей наглядную визуализацию информации;
- организация информационно-аналитической обработки знаний.

В настоящее время используются две основные стратегии информационного поиска:

- поиск по предварительно классифицированной информации;
- контекстно-свободный поиск.

Первая стратегия является базовой и ориентирована на применение различных систем классификации и систематизации, обеспечивающих направленно-детерминированный поиск.

Вторая предлагает свободный поиск на основе информационно-поискового образа. Создание современных аппаратно-программных систем поиска, а также бурное развитие технологии информационных хранилищ предполагает ее широкое применение в дальнейшем [2].

Решение проблемы доступа к информации, обеспечит формирование интеллектуального, де-

мократического и свободного в информационном отношении общества.

Назначение библиотеки как социального института, обеспечивающего обществу возможность эффективного использования накопленного им документального потенциала, реализуется в предоставлении читателям разнообразного ассортимента информационных услуг в оптимальные сроки и желаемого качества.

Отличительной чертой современного общественного развития является стремительное возрастание объемов и значимости информации, ее усиливающееся влияние на все области деятельности. Информация, традиционно воспринимается как средство общения, на глазах нынешнего поколения людей все больше проявляет себя как универсальное средство организации всех форм общественной жизни, в решающей степени определяющее эффективность работы технических систем, отраслей, предприятий и народного хозяйства в целом. Понимаемая как процесс создания информационных систем, основанных на новейших средствах вычислительной техники и технологиях обработки данных, и применяемая для обеспечения доступа к накопленным в мире знаниям, информатизация охватила все стороны современного общества.

Автоматизация поиска открыла новые возможности для библиографической практической деятельности. Вместе с тем явно ошибочно представление о ней как о средстве легкого преодоления всех сложностей поиска информации. Проблему автоматизации библиотечного поиска нельзя считать решенной в наши дни. Всегда есть и будут вопросы использования технических средств, требующие теоретической разработки.

Таким образом, для современного этапа характерно повышенное внимание к вопросам справочно-библиографического обслуживания, связанным с автоматизированным библиографическим поиском, организация которого является одной из наиболее сложных проблем автоматизации.

Автоматизированный поиск можно рассматривать как процесс, направленный на обнаружение релевантной библиографической информации, как действие, возникающее в ответ на поступивший запрос. Поэтому его можно определить как совокупность процессов поиска вторично-документальной информации, релевантной содержательным или формальным признакам документа, указанным в поступившем запросе.

Автоматизированный библиографический поиск является более эффективным, чем традиционный.

С помощью высокоэффективной библиографической системы могут быть частично преодолены барьеры, возникающие на пути потребителя к до-

кументу, которые образуют противоречия между постоянно возрастающими потребностями в документальных источниках информации и существующими возможностями их удовлетворения. Эту систему можно считать эффективной лишь в том случае, если она обеспечивает реализацию поисковой, коммуникативной и оценочной функции библиографической информации, т. е. содействует быстрому и результативному поиску нужных документов, своевременному ознакомлению потребителей с быстрорастущим потоком документов, позволяет выбрать из них наиболее ценные и т.д. [3].

Автоматизация процессов справочно-библиографического обслуживания приводит не только к более оперативному, полному, качественному удовлетворению запросов, но и повышает информационную культуру специалиста. В современных условиях информационная культура личности является необходимой основой успешной деятельности в любой сфере, социально престижным качеством специалиста.

Автоматизация библиографического поиска — одно из важных направлений дальнейшего повышения эффективности и качества справочно-библиографического обслуживания.

4. Метод компарации при работе с информационными объектами

Систематизация документов и организация предметно — тематического поиска в базах данных информационной системы определяется, прежде всего, инструментом (методикой) системы классификации, используемой в конкретном каталоге. Соответствие найденной информации запросу пользователя зависит от выбранных правил структурного объединения баз данных, в основе которых лежит методология классификации объектов. Для построения математической модели классификации документов в полнотекстовой базе данных и ключевых слов в словаре предлагается использовать один из основных методов теории интеллекта — метод сравнения, или метод компараторной идентификации информационных объектов [4, 6]. Классическая задача идентификации состоит в том, что по входному x и выходному y сигналам объекта определить закон $y = F(x)$ преобразования сигнала этим объектом. Такую идентификацию называют прямой, поскольку она осуществляется при непосредственном доступе к выходному сигналу объекта. Однако в ряде случаев возникает необходимость в косвенной идентификации объекта, когда у исследователя нет прямого доступа к выходному сигналу. Многие задачи этого типа можно решать методом компараторной идентификации объекта. Данный метод позволяет излагать основные положения теории интеллекта дедуктивным способом, исходя исключительно из физически наблюдаемых

фактов, он хорошо зарекомендовал себя при обработке лингвистических объектов различных уровней языка.

Обрабатываемые информационными системами объекты являются дискретными, конечными и детерминированными, что позволяет использовать при обработке этих объектов метод компараторной идентификации. Сущность метода представлена на рис. 1.

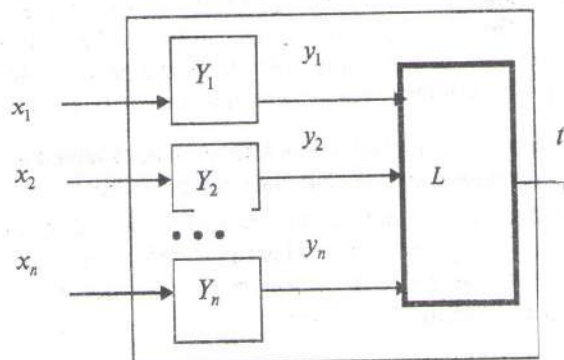


Рис 1. Сущность метода компараторной идентификации

На вход системы подается множество сигналов $x_1, x_2, \dots, x_n$. Под сигналом мы понимаем условные знаки, служащие для передачи информации (тексты документов, ключевые понятия и т.д.). Входные сигналы берутся из конечных множеств $X_1, X_2, \dots, X_n$, причем $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$. В результате работы системы, осуществляющей обработку информации, на выход поступает определенное множество элементов $y_1, y_2, \dots, y_n$. В нашем случае под $y_1, y_2, \dots, y_n$ можно понимать ключевые понятия, дескрипторы УДК, ББК и т.д. Причем $y_1 \in Y_1, y_2 \in Y_2, \dots, y_n \in Y_n$.

Элементы $y_1, y_2, \dots, y_n$ однозначно зависят от сигнала $x_1, x_2, \dots, x_n$. Это означает, что существуют функции $y_1 = f_1(x_1), y_2 = f_2(x_2), \dots, y_n = f_n(x_n)$, которые ставят в соответствие каждому

$$x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$$

элемент

$$y_1 \in Y_1, y_2 \in Y_2, \dots, y_n \in Y_n.$$

Причем каждому из сигналов $x_i \in X_i$ соответствует вполне определенный элемент $y_i \in Y_i$. Таким образом, каждая из функций f_i представляет собой сюръекцию, отображающую множество X_i на множество $Y_i, i \in \{1, 2, \dots, n\}$. Функции f_i характеризуют способность системы соотносить информацию, передаваемую условным знаком — сигналом с элементом, отражающим его смысл и соответствующим той или иной классификации.

В ходе работы системы проверяется существование некоторого отношения Q , связывающего эле-

менты $y_1, y_2, \dots, y_n$, которые появляются на выходе системы после сигналов $x_1, x_2, \dots, x_n$, поступающих на вход системы. Таким образом, в процессе работы компаратор реализует предикат

$$q = Q(y_1, y_2, \dots, y_n),$$

соответствующий отношению Q . Предикат q характеризует механизм сравнения элементов $y_1, y_2, \dots, y_n$. Именно эта операция сравнения позволяет назвать данный метод методом компарации. Предикат

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = Q(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n))$$

характеризует работу системы, осуществляющую интеллектуальную обработку документальной информации, которая на сигналы $x_1, x_2, \dots, x_n$ реагирует ответом $q = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Моделирование любой из задач аналитико-синтаксической обработки информации заключается в том, чтобы из свойств предиката P , осуществляющего компараторную идентификацию информационных объектов, извлечь внутреннюю структуру сигналов $x_1, x_2, \dots, x_n$, элементов $y_1, y_2, \dots, y_n$, вид функций $f_1, f_2, \dots, f_n$ и вид предиката Q .

В общем случае система получает k заданий, которые выполняет поочередно для различных наборов входных сигналов. Закономерности обработки сигналов записываются в виде системы логических условий:

$$\begin{cases} K_1(L_1, L_2, \dots, L_k) = 1 \\ K_2(L_1, L_2, \dots, L_k) = 1 \\ \dots \\ K_j(L_1, L_2, \dots, L_k) = 1, \end{cases} \quad (1)$$

связывающих между собой предикатные переменные $L_1, L_2, \dots, L_k$. Здесь $K_1, K_2, \dots, K_j$ — предикаты от предикатов $L_1, L_2, \dots, L_k$. Предикат $L_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ задан на декартовом произведении $X_{1i} \times X_{2i} \times \dots \times X_{ni}$. Решение $L_1 = P_1, L_2 = P_2, \dots, L_k = P_k$ удовлетворяет системе уравнений (1).

Под универсумом элементов U мы будем понимать всевозможные тексты документов полнотекстовой базы данных, вторичные документы (реферат, аннотация, библиография), ключевые понятия, дескрипторы, рубрики и подрубрики, входящие в рубрикатор информационной системы и т.д. Из элементов универсума образуются подмножества $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ni}$, сообразуясь с конкретной задачей обработки информации. На декартовых произведениях $X_{1i} \times X_{2i} \times \dots \times X_{ni}$, определенных предикатами P_i , характеризуют работу системы, выполняющую ту или иную аналитико-синтаксическую обработку документально-информационных потоков.

Вводятся предикатные переменные $L_1, L_2, \dots, L_k$, которые связываются логическими уравнениями.

Эти уравнения выступают исходными постулатами метода компараторной идентификации. Из них, как из аксиом, дедуктивно выводятся зависимости, характеризующие внутреннюю структуру элементов универсума U и предикатов $P_1, P_2, \dots, P_k$.

Для решения этой задачи необходим единый универсальный математический аппарат. Желательно, чтобы этот математический аппарат был ориентирован также и на моделирование всех уровней лингвистической обработки текстов документов. Опыт исследования закономерностей передачи информации на естественном языке, а именно с такой информацией мы имеем дело в автоматизированных информационных системах, показывает, что рационально пользоваться одним формальным аппаратом описания закономерностей передачи и интеллектуального преобразования информации. Необходим формальный аппарат для описания предикатов, которые реализуются при любом виде интеллектуальной обработки текстовой информации, для формирования уравнений, описывающих свойства этих предикатов. Таким наиболее универсальным аппаратом, служащим для описания закономерностей обработки информации на естественном языке, и является алгебра конечных предикатов и метод компараторной идентификации [5, 6].

5. Метод компарации при работе с информационными объектами

Центральной задачей аналитико-синтаксической обработки документов является разбиение всех рассматриваемых текстов на классы эквивалентности с тождественным или почти тождественным смыслом, т.е. та или иная классификация документов. Для дальнейшей работы введем несколько рабочих определений. Определимся с понятиями документа, дескриптора, ключевого термина, дескрипторно-текстового предиката.

Под документом обычно понимают любой материальный носитель семантической информации, которая может быть выражена знаковой формой и зафиксирована любым образом. Множество документов, которые мы будем рассматривать, представляют собой некоторую, достаточно четко очерченную совокупность текстов полнотекстовой базы данных. Под полнотекстовой базой данных понимается именованная совокупность данных, отражающая состояния объектов и их отношений в определенной предметной области, в которой в качестве данных выступают любые целостные тексты.

Под дескриптором будем понимать ключевое слово, выбранное из группы условной эквивалентности ключевых слов. Предикат $P(t, r)$, заданный на декартовом произведении множества текстов и ключевых слов, называется дескрипторно-текстовым, поскольку он задает отношение между текста-

ми документов и ключевыми терминами, отражающими смысл этих документов. Введенный дескрипторно — текстовый предикат $P(t, r)$; полученные предикаты эквивалентности E_1 и E_2 позволяют провести разбиение документов и ключевых терминов на классы эквивалентности, представляющие собой определенные подтемы и подрубрики. При этом для каждого класса можно ввести обозначение подтемы, объединяющей данный класс. Ясно, что тексты, входящие в полученные нами классы эквивалентностей, не тождественны по смыслу — они являются эквивалентными относительно выражаемой ими подтемы.

Классу L_a всех текстов $t \in T$, относящихся к одной подтеме, содержащему текст $a \in T$, соответствует предикат $L_a(t) = E_1(t, a)$. Таким образом, получаем

$$L_a(t) = \forall r \in R(P(t, r) \sim P(a, r)). \quad (2)$$

Классу Q_b всех ключевых понятий $r \in R$, относящихся к одной подрубрике с ключевым понятием $b \in R$, соответствует предикат $Q_b(r) = E_2(r, b)$. Получаем формулу:

$$Q_b(r) = \forall t \in T(P(t, r) \sim P(t, b)). \quad (3)$$

Формулы (2) и (3) выражают деление текстов на подтемы и ключевых понятий на подрубрики через предикат θ_2 , объективно определяемый классификатором.

Таким образом, метод компараторной идентификации позволяет автоматически разделять тексты документов полнотекстовых баз данных на тождественные (по отношению к определенной подтеме) и разбивать ключевые термины, относящиеся к данной предметной области, на классы эквивалентностей, представляющие собой определенную подрубрику. Применение данного метода в автоматизированных информационных системах позволит пользователю вести узкотематический и многоаспектный поиск документов в полнотекстовых базах данных.

6. Основные результаты и выводы

Обзор современного состояния и перспектив развития математического и лингвистического обеспечения информационных систем, показал, что значительную пользу может принести система детализированных моделей, служащих основой для конструирования интегральной информационной системы. Ключевой проблемой этой области осталась автоматизация анализа содержания текстов документов, т. е. аналитико-синтаксическая обработка (классификация, предметизация, систематизация и т. д.). Существующие информационные системы в своем большинстве статичны и не поддерживают динамичность информационных процессов, заключающихся, прежде всего, в измене-

нии условий классификации, возникающих в случае роста предметной области и развития знания.

В отличие от других ранее применяемых методов, метод компараторной идентификации, предложенный в [5], и используемый в данной статье для моделирования процессов обработки информационных объектов, позволяет моделировать процедуры интеллектуальной (в том числе семантической) обработки документов, учитывая изменение условий классификации путем корректировки словаря терминов. Классификация и систематизация документов в полнотекстовой базе данных основывается на тождественности текстов документов по отношению к определенной подтеме и тождественности ключевых терминов по отношению к определенной подрубрике. Использование данного метода позволило ввести и обосновать понятие дескрипторно — текстового предиката, формально представляющего отношения между текстом и соответствующим ему ключевым термином.

Поскольку Data Mining — это процесс обработки ранее неизвестных нетривиальных практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности, то предложенный в данной работе метод компараторной идентификации по отношению к «сырым» данным можно квалифицировать как один из логических методов, разрабатываемых в Data Mining. Таким образом, рассмотренные модели и методы обработки текстовой информации, использующие основные подходы Data Mining и Text Mining, представляют интерес для разработчиков информационно — поисковых, экспертных, аналитических средств информационных систем широкого назначения, в том числе для обучающих систем различных модификаций.

Список литературы: 1. Пономарёв В.В. Концептуальная модель комплекса средств лингвистического и программного обеспечения экспертно — поисковой системы с элементами социопсихолингвистической детерминации. — М.: «ДИАЛОГ-МИФИ», 2004. — 176 с. 2. Пириев В.Ф. Стратегии организации информационно-поисковой работы в электронных библиотечных фондах // Стратегія комплектування фондів наукової бібліотеки: Тез. доп. міжнар. наук. конф. (8–10 жовтня, 1996 р.). 1996. — С. 61–62. 3. Капырина А.А. Автоматизация библиографического поиска как фактор повышения эффективности справочно-библиографического обслуживания. Минск: Информационный центр по вопросам культуры и творчества; 1996. — 20 с. 4. Хайрова Н.Ф., Шаронова Н.В. Автоматизированные информационные системы: задачи обработки информации — Харьков: Нар. укр. акад., 2002. — 120 с. 5. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта: Проблемы и перспективы. — Харків: Вища шк., 1987. — 158 с. 6. Шабанов-Кушнаренко Ю.П., Шаронова Н.В. Компараторная идентификация лингвистических объектов. — К., ИСИО, 1993. — 116 с.

Поступила в редколлегию 21.10.2005

GOLDEN SECTION AND SOLAR CYCLES IN NATURAL PHENOMENA AND BIONICS

In development of Auric Time Scale based on the Golden section power series with the unity equal to the average Solar cycle length, new acknowledgements are presented that widen the synchronism between the ATS and planetary and terrestrial phenomena periods up to seconds and dozens of millennia. It is shown that distribution of Solar cycle energy emission centers also follows these series.

1. Introduction

Solar activity (SA) presents interest from both practical and theoretical points of view. Solar events may disrupt or damage such Earth-Space activities as satellite operations, high-altitude polar flights, electric power distribution, pipeline operations, climate, biological objects, etc. [www.sel.noaa.gov, science.nasa.gov]. That is why forecasting of SA levels presents an important problem not only for astrophysicists, but for a variety of applications. However, though the physical causes of correlations between some manifestations of SA are explained, and their use together with empirical models allow us to obtain more or less reliable short-term forecasts, the origin and mathematical description of the basic 11-year SA cycles (Solar cycles, for short) remain obscure.

For these reasons, study of these cycles continues to attract attention of astronomers [1], mathematicians [2] and experts in other branches of knowledge [3]. The basic aspects of these studies are associated with detection of cycles in nature and society that correlate with the Solar cycles, and revealing of supercycles and subcycles of the basic Solar cycle both within the sequence of these cycles, and in relation with the planetary revolutions. The former aspect of this problem provides us with a lot of well-grounded correlations [3–6], but it is evidently a sphere of applications. On the contrary, the latter one presumes mathematical study in search of those laws which may be used for more exact forecasting and understanding of this phenomenon.

From mathematical point of view, the principal difficulties in study of Solar cycles consist in small amount of sampling and absence of stable criterion specifying their critical points. Thus, only less than two dozens of Solar cycles were observed on a regular basis relative to sunspots, and only few ones — with regard to other Solar indices, whereas subjective criteria (cycle minimum and maximum [7]) are used for treating these values. Besides, we must allow for noticeable variation in cycle parameters and noise pollution of Solar data which, to some extent, are attributed to planetary influence [2, 6] and, for this reason, called modulation.

All these factors hamper quantitative study of Solar cycles; first of all — due to a lack of numerical tools for

testing of obtained empirical dependencies. Hence, it becomes clear that only a system treatment of all these obstacles may allow us to reveal more or less general laws that stand beyond the development of Solar.

General model of Solar cycle presumes description of SA magnitude (basically — the sunspot number) in time. Not only this problem, but even its sub-problem consisting in forecasting of cycle minimum and maximum for the forthcoming cycle is far from its solution. Therefore, specifying an unbiased and stable criterion for selection of Solar cycle reference points, to be taken instead of empirical maxima and minima [7], as well as studying of their properties on the grounds of error analysis presents an important scientific problem being crucial for many applications.

2. Analysis of the problem

2.1. Solar activity is understood as origination of active formations in Solar atmosphere; the main of them are as follows [www.sel.noaa.gov, science.nasa.gov].

Sunspot is an area seen as a dark spot on the photosphere of the Sun. Sunspots are concentrations of magnetic flux, typically occurring in bipolar clusters or groups. According to historical records, Theophrastus was the first who identified them in 325 BC. In Europe they were discovered with the invention of telescope in 1610, independently by G. Galilei, J. Fabricius, C. Scheiner, and T. Harriot.

Daily observations and counts of sunspots were started at the Zurich Observatory in 1749, after R. Wolf has devised in 1848 a daily index of sunspot activity — Sunspot Number (SSN) as $R = k(10g + s)$, where S is the number of individual spots, g — the number of sunspot groups, and k — an observatory factor. Today Wolf sunspot counts continue, since no other index of the sun activity reaches into the past as far and as continuously. The determination of International Sunspot Numbers R_i results from a statistical treatment of data originating from an international network to guarantee continuity with the past Zurich series R_z . These numbers may be obtained at [8, 9]. Below, *monthly mean R_i numbers* are considered, if not specified otherwise.

Side by side with SSN, the 10.7cm Radio Flux (Flux, for short) index is supplied which represents the level of Sun's radio emissions. This index is closely correlated with SSN, but its values are recorded from 1947.

Solar flare is an intense eruption of energy on the Solar disk. Flares are our solar system's largest explosive events; they occur near sunspots. Often above sunspot groups, the solar atmosphere can release tongues of gas and magnetic fields called *Coronal Mass Ejection* (CME).

A large CME can contain billion tons of matter that can be accelerated to several million miles per hour. CMEs produce disturbances that strike the Earth with sometimes catastrophic results. The frequency of CMEs varies with the sunspot cycle.

Thus, though the origin of Sunspots is not well understood, it is known that the magnetic field in sunspots stores energy that is released in solar flares and other events. As a result, they usually occur in a cycle that mimics the eleven-year sunspot cycle. Therefore, for the reasons of its continuity, long prehistory and close correlation with other factors of SA, we can take the SSN for a representational index of Solar activity as a whole.

2.2. Solar cycle. During an 11-year SA cycle, the number and the magnitude of Solar effects vary from minimum to maximum, and back – to minimum. In average, the duration of this cycle makes 11 years, though its actual values varied from 7 to 17 years. In parallel with it, the magnetic sunspot cycle of 22.1 years (the *Hale* cycle) is generally accepted. Since the start of daily observations, the cycles carry the Zurich series numbers [7]. The current 23rd cycle has started in 1996 and now approaches its end.

The monthly mean SSN [8] are obtained for filtering of daily variations in this index. In order to decrease the swing of monthly mean SSN, the *smoothed monthly mean SSN* [7] is defined as the arithmetic average of two sequential 12-month running means of monthly mean numbers. However, though use of smoothed values benefits to visual presentation of development of SA, this approximation distorts the monthly counts. Nevertheless, namely these values are used in the definition of the conventional maxima and minima epochs of Solar cycle: «When observations permit, a date selected as either a cycle minimum or maximum is based in part on an average of the times when extremes are reached in the monthly mean sunspot number, in the smoothed monthly mean sunspot number, and in the monthly mean number of spot groups alone. Two more measures are used at time of sunspot minimum: the number of spotless days and the frequency of occurrence of «old» and «new» cycle spot group.» [9].

This subjectivity leads to an unacceptable, for mathematical study, uncertainty in estimation of extrema: «May 1996 marks the mathematical minimum of Cycle 23. October 1996 marks the consensus minimum determined by an international group of solar physicists. April 2000 marks the mathematical maximum of Cycle 23. However, several other solar indices (e.g., solar radio flux) recorded a higher secondary maximum in late 2001.» [9]. Fig. 1 illustrates this situation, where use of smoothing polynomial instead of smoothed SSN clearly shows a bimodal nature in development of SA.

2.3. Solar Cycle Prediction. With the aim to work out a forecast for the amplitude and phasing of the most common indicators of solar and geomagnetic activity for Solar Cycle 23 and to recommend it for operational use,

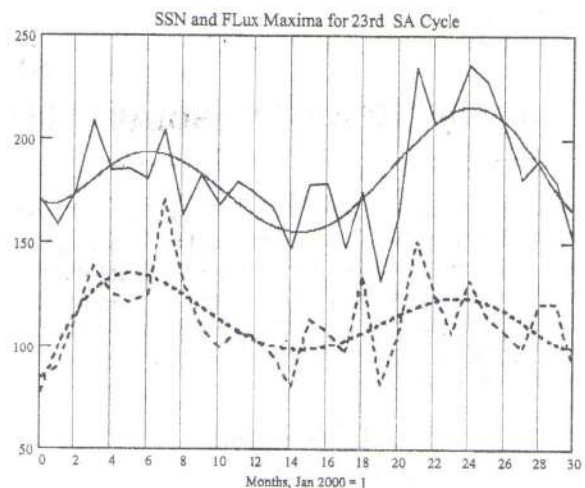


Fig. 1. Monthly Mean SSN and Radio Flux for cycle 23 (January 2000 to June 2002)

Upper lines: Polygon — Monthly mean Flux (divided by 10)
Smooth line — Smoothing polynomial for Flux
Lower lines: Polygon — Monthly mean SSN
Smooth line — Smoothing polynomial for SSN

the NOAA and NASA recruited a scientific panel of 12 scientists from 10 agencies that issued the report [10] in which it summarized the findings of the panel. It ascertains «lack of a successful quantitative, theoretical model of the Sun's magnetic cycle» and states that criticisms of long-term solar cycle prediction focus on the thin physical foundation beneath such predictions. The panel largely agrees with these criticisms, and encourages scientific community to develop a fundamental understanding of the solar cycle that would provide the basis for physical rather than the present empirical prediction methods. In the summary [11] of the Second Meeting, the panel notes that the epoch tables specifying cycle maxima and minima included in [12] are not consistent with a strict determination based on smoothed sunspot number.

This means that the existing level of physical knowledge and the empirical techniques allow us to predict the magnitude and the phase (extrema epochs) of the forthcoming SA cycle, but with a great error and for the smoothed SSN. Indeed, an error of the forecasted magnitude of maximum makes about $\delta_{Magn} \approx 33\%$, and the model suggestion that the Solar cycle has a single maximum must evidently be rejected due to the observed SA dynamics. Thus, monthly mean SSN was growing in Cycle 23 until it reached the cycle maximum of 170.1 (July 2000). Then, after a decline up to the value of 80.6 (February, 2001), it starts to grow and reaches the second pronounced peak of 150.7 (September, 2001) — see fig. 1. Moreover, the Solar flux has its cycle maximum at the second comb of SSN — at September and December of 2001. In smoothed values being used in that model an error for the second maximum makes 20 months, or 40% relative to 4-year period of forecasting, which even does not fit the interval estimation. Note also

that Cycle 22 shows a similar bimodal behaviour in SSN and Solar flux.

Therefore, we may conclude that a *unimodal concept* of Solar cycle is not adequate; neither the Solar cycle *maximum (minimum)* epoch grounded on the *smoothed* SSN reflect the actual status of SA, though it is expected to await that a characteristic with such name must reflect its meaning and not with a 40% error even for one cycle.

2.4. Interaction models. Apart from Solar-index ones, the models which show correlation between the Solar cycle extrema and planetary periods and positions exist.

T. Landscheidt [3] suggested that the major instability events (on Sun and Earth) took place when the Centre of masses (CM) of the Solar system remained in or near the Sun's surface. For a quantitative model of this phenomenon he considers the torque T acting on the Sun and shows that strong impulses of the torque are initiated when Jupiter, the CM and Sun's centre CS (JU-CM-CS) are in line, and major instability events caused by these conjunctions nearly always are accompanied by energetic eruptional activity. This allows to efficiently predict weather and geomagnetic storms.

Though the *Golden Section* is not detected in the Torque-Fractal Model (TFM), Landscheidt implies that «it could be that the pentadactyl pattern created by the Sun and the outer planets hints to a special function of the *Golden section* in the *Solar system*. ... If we want to understand cycles in depth, we must consider these root elements and their connections. This is valid, too, for planetary cycles.» [13]. However, the TFM does not engender neither an accurate estimate for the average Solar cycle length T_0 , nor a TFM-correlation with Solar cycles. In this sense the TFM can be taken as an analytical model that describes how the JU-CM-CS modulates, but not governs, the development of a Solar cycles.

The synchronism between the SA cycle harmonics and planetary periods was also studied with the use of Fourier spectrum of Zurich series [1]. It turned out that several dozens of peaks (viz. periods) on the spectrum have been identified with the orbital periods P_i , P_j of planets according to the formula $1/P_j = 1/P_i \pm 1/P_j$. Though the obtained synchronism between some Solar cycle harmonics and planetary paired periods presents an outstanding result by itself, it does not provide us neither with the basic 22-year period, nor with a structure of harmonics.

Many other dependencies are now discovered between the Solar cycle harmonics and a wide spectrum of periods in nature and society [5, 14]. But with the exception of Auric Time Scale (ATS) [15] grounded on the Golden section number, no other system structures a significant part of these periods.

2.5. Statement of the problem. The provided analysis shows that until now there exists neither explanation, nor numerical description of trends in Solar cycles, apart from the commonly accept presence of 11- and 22-year

cycles. From this viewpoint, the *average duration of Solar cycle* T_0 is of fundamental importance. Since the SSN statistics has several order larger prehistory than any other Solar index and this number is closely correlated with other indices, the *monthly mean SSN* is taken as the source data in study of Solar cycles. In order to obtain reliable conclusions from these «polluted» data, we must analyze them on the grounds of *error analysis*. As far as a suggestion relative to the *Golden section* does actually take place for the Solar system periods [15] and historical spiralling of time [16], it also presents an interest to reveal, whether the Golden section is seen in Solar cycles. Last, not least, is the necessity to define an effectual substitute (*reference point*) for a cycle maximum.

With the due regard of these requirements, we come to a general problem of structural and parametric identification of Solar cycles. In treating this problem, (1) a critical epoch of Solar cycle must be formally defined and (2) a model of distribution of these epochs (cycle structure) is to be proposed. For this, the concept of Regular model of Solar cycle maxima distribution [17, 18] is disseminated onto the Solar cycle medians with the use of ATS and threshold error analysis for adequate testing of synchronism (correlation) between epochs and periods.

3. Auric Time Scale and error analysis

At present, a wide spectrum of correlations of periods has been established for the diverse phenomena in various spheres of knowledge: from biology and economy – up to geology, the most part of which are associated with the Solar cycle and its harmonics. However, the trustworthiness of correlations between some of these periods is frequently called in question, since speculations in most cases dominate a quantitative analysis. As a result, we come to a situation when absence of consolidated criterion for accepting a synchronism between periods on the one hand, and lack of generally accepted structure of periods, on the other hand, put the impediments in study of cycle structures and correlations. For settling this problem, the concepts of error analysis and Auric Time Scale were put forward.

3.1. Auric Time Scale [15, 16]. The Golden Section number $\Phi = 1.6180339...$ is known from the antiquity. The inverse value $\varphi = \Phi^{-1} = 0.6180339...$ also bears this name, whereas coincidence of fractions is not occasional as $\Phi = 1 + \varphi$. The following two-sided progression with unitary initial term is called [15] the *Auric series* Γ

$$..., \Phi^{-2}, \Phi^{-1}, \Phi^0 = 1, \Phi^1, \Phi^2, ... \quad (1)$$

Without negative powers, it takes the form $..., \varphi^2, \varphi^1, \varphi^0 = \Phi^0 = 1, \Phi^1, \Phi^2, ...$. Series Γ_n presents the *natural replenishment* of series Γ or order n , if a natural value n is assigned to the initial term of series Γ . Among all these series, the greatest interest presents the series $\Gamma^* = \Gamma_2$, or

$$..., 2\Phi^{-2}, 2\Phi^{-1}, 2\Phi^0 = 2, 2\Phi^1, 2\Phi^2, ...$$

The *Fibonacci numbers (series)* are the terms of infinite series u of natural numbers $u_1, u_2, \dots$ defined by initial terms $u_1 = u_2 = 1$ and recurrent equation $u_{n+1} = u_n + u_{n-1}$.

Within a scale factor, the series (1) is the only one that also satisfies the Fibonacci's property $\gamma_{n+2} = \gamma_n + \gamma_{n+1}$; besides, the Golden section and series u are connected as follows:

$$u_n = [\Phi^n - (-\varphi)^n] / \sqrt{5}, \quad (2)$$

$$\Phi^n = u_n \cdot \Phi + u_{n-1}. \quad (3)$$

In parallel with the series u , consider the series v which is generated as the series u , but with other initial terms $v_1 = 1, v_2 = 3$. The connection between this series and series u may be described as follows:

$$v_n = u_{n-1} + u_{n+1}, \quad n > 1; \quad v_n = \Phi^n + (-\varphi)^n. \quad (4)$$

Consider also the *United series* z composed of their terms as $u_1, v_0, u_2, v_1, u_3, v_2, u_4, v_3, \dots$, where $v_0 = 0$. Other properties of these series are given in [15]. The bulk of Auric series terms that are used below are given in tab. 1.

Table 1

Fibonacci Numbers and Basic Auric Series

Index k	Series u u_k	Series v v_k	Series Γ Φ^k	Series Γ^* $2\Phi^k$
.	.	.	.	.
-3	-	-	0.24	0.47
-2	-	-	0.38	0.76
-1	-	-	0.62	1.24
0	-	-	1.00	2.00
1	1	1	1.62	3.24
2	1	3	2.62	5.24
3	2	4	4.24	8.47
4	3	7	6.85	13.71
5	5	11	11.09	22.18
6	8	18	17.94	35.89
7	13	29	29.03	58.07
8	21	47	46.98	93.96
9	34	76	76.01	152.03
10	55	123	122.99	245.98
11	89	199	199.00	398.01
12	144	322	322.00	643.99
13	233	521	521.00	1042.00
14	377	843	843.00	1686.00
15	610	1364	1364.00	2728.00
16	987	2207	2207.00	4414.00
17	1597	3571	3571.00	7142.00
18	2584	5778	5778.00	11556.00
19	4181	9349	9349.00	18698.00
20	6765	15127	15127.00	30254.00
21	10946	24476	24476.00	48952.00
22	17711	39603	39603.00	79206.00
.	.	.	.	.

Note, that (3) gives a convenient rule for calculation of powers of Φ and it follows from (3), (4) that Φ^n

converges to v_n , and $2\Phi^n$ - to $(2\sqrt{5}/\Phi^3) \cdot u_{n+3} \approx 1.056 \cdot u_{n+3}$.

In other words, the Golden section series Γ engenders the series Γ^* , whereas the series v and u give an integer presentation for the former ones. This unity of multiplicativity and additivity presents a deep basis of series Γ and Fibonacci numbers, and engenders a close connection between them which is important as a structure presenting a system of basic periods [15]. For this reason the system of series Γ and Γ^* , in parallel with u, v , and z , is further considered as the *Auric Time Scale* in a wide sense, the time unity of which (viz. the term $\Phi^0 = 1$ of series Γ) corresponds to the selected period of physical process (e.g. Tropical year, Solar cycle length, or other period). For convenience, the Earth year is taken for this unity. Namely this algebraic system, the core of which is specified by the series Γ , is used as a *discrete* structure of a set of benchmarks which correlate the bulk of basic periods from planetary to terrestrial ones.

3.2. Threshold Error Analysis [18]. The actuality of error analysis for the considered problem corresponds fully to that how frequently it is ignored, when the values obtained from observations are taken for the "exact" ones. The more so because a short source data prehistory results in obtaining of relatively wide confidence intervals for the solutions to have practical sense.

For the *threshold error* δ^* we take a relative error pertaining to the least exact, but important quantity out of the considered ones. This allows us to explicitly adjust the decision making to the source data accuracy and, further on, to supply the result with its error for subsequent use.

Let δ^* present a threshold relative error for the given system of periods Z , and T, t - the estimates for its elements $X, Y \in Z$. Define the error of equality for these values as the ratio presenting an analogue of relative error

$$\delta_{T,t} = |T - t| / \min(|T|, |t|). \quad (5)$$

In this case we accept the periods X, Y equal to within the error $\delta_{T,t}$, and denote this as $X \cong Y (\delta_{T,t})$. If $\delta_{T,t} \leq \delta^*$, we accept these periods equal $X \equiv Y$ to within the system Z, δ^* . Thus, out of relation $2\Phi^n \approx 1.056 \cdot u_{n+3}$ for the terms of series u and Γ^* we get $2\Phi^n \cong u_{n+3}$ (5.6%) and regard them as equal for $\delta^* = 6\%$.

Together with considering of relative error being appropriate for periods, in analysis of proximity of absolute time moments we must take into account the origin of time coordinate. In this case we consider an absolute error

$$\Delta_{xy} = |x - y|, \quad (6)$$

and compare it against the threshold error Δ^* to be defined in compliance with δ^* , though in some cases the value δ^* is obtained from Δ^* , if the latter one defines the degree of a source data uncertainty.

Comparing of errors (5), (6) against the threshold value δ^* (Δ^*) specifies a *binary relation* $X \equiv Y$ of synchronism for elements of system Z with respect to the given accuracy δ^* (Δ^*). Though transitivity for this relation may not be guaranteed for all possible chains of periods for a continuous scale, this does not impede from revealing of classes of equivalences of periods (in a sense synchronism) in case of ATS due to its *discrete* structure, if we specify these classes by δ^* -deviations from the exact ATS values.

When considering a system of Solar and planetary revolution periods, the Solar parameters are evidently to be taken for estimating the value of δ^* (or Δ^*) as the least exact, but most important one. The more so the 11-year Solar cycle period and its harmonics correlate not only with the majority of both planetary and terrestrial phenomena periods, but also with a probable «master generator» of the Solar System – the nearby hypernova Eta Carinae [19].

4. Solar cycle length estimation and its accuracy

Thus, the average length of the 11-year Solar cycle T_o^* presents special interest for this study. The basic estimates for it are varying around the value of $T_o' = 11.1$ yr, but the principal question remains as to estimation of two decimal digits of mantissa. Although a Solar cycle is considered now as an interval between two sequential minima, in estimating the average length T_o^* the epochs of maxima are more useful, as the pre-telescopic observations are associated with phenomena originated at Solar maxima, while inexact definition of minimum hampers use of even existing SSN data.

For the given epochs of maxima $\tau_n = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, the value of T_o^* can be estimated by the mean cycle length

$$T_o = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (t_{i+1} - t_i) = \frac{1}{n-1} (t_n - t_1), \quad (7)$$

that presents a *stable and unbiased estimate* of T_o^* , the accuracy of which the higher, the longer the series τ_n .

A new catalogue [20] of sunspot observations estimates this period as $T_{o,C} = 11.116 \pm 0.007$ and provides an approximation for maxima epochs: $Year = 4.0 + 11.116N$, where N is a cycle number ($N = 178$ for maximum of 1980/81). However, this value exceeds significantly other estimates which are in good correspondence with a series of cross-correlations, and, even for the specified N , gives the value 1982.648 against the official year of 1979.9 [7]. J. Schöve [21] has made a mainly auroral analysis back to 649 BC and calculated that between 215 BC and AD 1947 there were 195 sunspot cycles thus giving $T_{o,S} = 11.08$ yr as the average length. Due to a significant variation in periods he also gives an interval estimate of 11.04 to 11.09 yr and considers the question to be not definitively settled [6]. T. Cole, in development of his work has obtained an estimate of

11.06 yr [22]. T. Niroma [6] supports an estimate of $T_o = 11.07$ yr with an interval of 11.05 to 11.09 years. The same point estimate was obtained in [17, 18]. As far as these grounded estimates oscillate around the latter one, this value

$$T_o = 11.07, \quad (8)$$

is considered below as the most grounded point estimate for the average length of the 11-year Solar cycle T_o^* .

Absolute error for estimates (7), (8) can be evaluated so

$$\Delta_T = |T_o - T_o^*| = \left| \frac{1}{n-1} (t_n - t_1) - T_o^* \right|, \quad (9)$$

It depends on the errors in defining the epochs $\Delta_{E,1}$, $\Delta_{E,n}$ of the first and last maxima in the series τ_n , and in the deviations $\Delta_{D,1}$, $\Delta_{D,n}$ of length of the first and last cycles from the average value. Therefore, Δ_T does not exceed the following upper estimate for this error

$$\Delta_T \leq \frac{|\Delta_{E,n}| + |\Delta_{D,n}| + |\Delta_{E,1}| + |\Delta_{D,1}|}{n-1}, \quad (10)$$

where an average deviation in defining an epoch of maximum may take a value of up to 2 years, if they present a bimodal distribution of SSN, and up to 3 years for the ancient cycles being estimated by Aurorae which indicate maxima with such a delay [6]. Since the duration of Solar cycle may have a length of 7-17 yr, the worst estimate for Δ_T makes $\Delta_{T,w} \approx 17/(n-1)$ yr, while an average estimate for Δ_T makes $\Delta_{T,a} \approx 5/(n-1)$ yr.

At present, three principal series of SSN exist. For brevity, call them the *short*, *medium* and *long samples*. The first one presents the Zurich series. The medium sample contains telescopic observations since 1610, where all SSN maxima are specified [8], the current one is 36th. The long sample presents about two hundred Solar maxima epochs restored by observations of Aurorae and ¹⁴C.

The estimate $\Delta_{T,w}$ makes about 0.75, 0.5, and 0.085 yr for short, medium, and long sample, whereas the average estimate $\Delta_{T,a}$ makes 0.23, 0.14 and 0.025 yr, respectively. However, the accuracy of estimate (7) can actually be even higher, since the values $\Delta_{E,1}$, $\Delta_{E,n}$, $\Delta_{D,1}$, $\Delta_{D,n}$ may compensate each other, which is typical for statistical data. Hence, the *average error* Δ_a for the long sample can be estimated as a mean of the latter two values $\Delta_a \approx 0.01$ yr, but hardly less than 0.01 yr. Meanwhile, even if the epochs t_1 , t_n are defined exactly, the deviations $\Delta_{D,1}$, $\Delta_{D,n}$ remain effective (they may compensate by chance only). In this case the estimate $\Delta_{T,w}$ makes an order of 0.06 yr for a long sample, or $\Delta_w \approx 0.07$ as a mean for this and the above value, while for the short and medium samples this effect is seen in a significant variation of reported estimates for T_o^* .

Thus, use of long sample gives a mean limiting error in estimate (8) as $\Delta_w \approx 0.07$, which corresponds to

Niroma's intervals; by rounding this value to the tenth we obtain the searched *absolute* and *relative threshold errors*

$$\Delta^* = 0.1 \text{ yr}, \quad \delta^* = 0.1/11.07 \approx 1 \%. \quad (11)$$

5. ATS as a Structure of Periods and Evolutional Time

5.1. ATS: algebraic structure of Solar System periods [16]. Consider the Mercury to Pluto orbital periods together with the average periods of Solar Equator rotation, asteroid belt (AB) revolution, 11-year Solar cycle (with its 22-year Hale cycle), and the *main Solar System's period* — a minimal number that engenders the planetary periods as its natural harmonics; for short, call a hypothetic object with the latter period to the name of Proserpine — a planet being searched until now. As far as the Solar cycle length presents the most important, while the least exact period of these data, the value (11) is taken for a threshold error in acknowledging the below correlations.

Relative frequency $\Omega_{ij} = T_i / T_j$, $T_i > T_j$, of periods T_i , T_j defines the period of object j as harmonic with «number» Ω_{ij} relative to the period of object i in ideal case, when Ω_{ij} is an integer; call this situation a synchronism of period T_j and harmonic Ω_{ij} of period T_i . We know that absence of mathematically exact synchronism does not yet mean absence of its physical manifestation, but presumes that the synchronism between periods the more pronounced, the lesser the deviation of actual value of $\omega_{ij} = T_i / T_j$ from some integer frequency Ω_{ij} . In compliance with this approach, three main period T_{Ju} , T_{Ur} and T_{Pr} were revealed, the harmonics of which come to a good agreement with the periods of remaining objects.

By taking account of importance of the structures defined by these main periods, call them planetary series. Namely, a planetary series Q is a sequence of objects and their periods (or harmonics), where the root object Q presents the largest (root) period T_Q , while the fundamental periods of the remaining objects coincide with harmonics of this root period.

Denote the series of Jupiter, Uranus and Proserpine J , U , and P ; then, the series J , for example, comprises the following objects: $J = \{Jupiter (1), SA (1), AB (3), Mars (6), Earth (12), Venus (20), Mercury (50), SR (174)\}$. With respect to the definition of the main Solar System's period T_{Pr} , its harmonics must be close to the planetary ones. By allowing for their multiplicative nature, estimate this period as geometrical mean of known root planet periods, $T_{Pr} = \sqrt{(\omega_{Ju}^{Pr} \cdot T_{Ju}) \cdot (\omega_{Ur}^{Pr} \cdot T_{Ur})} = 501.144$. Analysis of these series allows us to conclude the following.

(1) The considered periods, to within an accuracy of 1-2%, are distributed over the three *planetary series* J , U , P , whereas the factors of these periods common to all series are presented in the series P with the least error.

(2) The period T_{Pr} is the minimal main period for Pluto, Neptune and other planets. Hence, whether the

hypothetical planet Proserpine exists, or not, the quantity T_{Pr} presents the fundamental period for Solar-planetary interaction.

(3) The system of planetary series J , U , P describes the Solar-planetary synchronism on a level of harmonic relations with the accuracy which, by order of magnitude, corresponds to the source data error δ^* .

(4) In a differential form [15], we come to a *sequentially enclosed planetary series* $J \subset U \subset P$: the planetary periods form three series J (Mercury to Jupiter), U (Mercury to Uranus) and P (Mercury to Proserpine) that satisfy the *Rule of multiplicativity and additivity* of harmonics:

— harmonic of a planet in the external series equals to the product of its internal series harmonic and the internal series root planet (Ju , Ur , or Pr) harmonic taken from the external series: $\omega_i^{(n+1)} = \omega_i^{(n)} \cdot \omega_{R_n}^{(n+1)}$;

— planet harmonic multiples at the external series comprise those in the internal series and the internal series root planet multiples taken from the external series:

$$c_i^{(n+1)} = c_i^{(n)} \cup \omega_{R_n}^{(n+1)},$$

where $\omega_i^{(n)}$, $\omega_i^{(n+1)}$ — harmonics of object i in the internal and external series, respectively; $n=1, 2, 3$ relates to J , U , P ;

$\omega_{R_n}^{(n+1)}$ — harmonic of the root R_n of the series n in the external series with number $(n+1)$;

$\omega_{R_n}^{(n)}$ equals to 1 and specifies main period of n -th series;

$c_i^{(n)}$ — set of harmonic multiples of object i in the series n .

(5) In an integral form [5], we come to a *Golden section algebraic structure of mean periods*. Let $\omega(Q)$, $\Gamma(Q)$, ($Q \in \{J, U, P\}$) denote arithmetic and geometric mean harmonic for series Q and Q_a denote the series Q replenished with the object(s) SR , SA , and/or AB . Then, with an average error $\delta_a \approx 2.5 \%$ all arithmetic and geometric mean harmonics of series J , U , P and their replenishments coincide with the terms of united series z ; namely:

— replenishing of any series $Q \in \{J, U, P\}$ with the element SR increases its mean $\omega(Q)$ in Φ^2 times, thus shifting the value $\omega(Q_{SR})$ by 2 terms in the series z ;

— in case of $\Gamma(Q)$, the replenished mean is increased in Φ times and shifted in z by 1 term.

For all elements and series, the replenishment diagram for the arithmetic means is given in fig. 2.

$$\begin{array}{ccc} \omega(Q) = z_k & \xrightarrow{\Phi^2} & z_{k+4} = \omega(Q, SR) \\ \downarrow \Phi & & \downarrow \Phi \\ \omega(Q, SA) = z_{k-1} & & z_{k+3} = \omega(Q, SR, SA) \\ \omega(Q, AB) = z_{k-1} & \xrightarrow{\Phi^2} & z_{k+3} = \omega(Q, SR, SA, AB) \\ & & z_{k+3} = \omega(Q, SR, AB) \end{array}$$

Fig. 2. Algebraic diagram of Golden section structure of mean periods. For series J , U , P the values z_k are z_{14} , z_{21} , z_{27}

5.2. ATS: correlation of Solar and Terrestrial periods.

If we take the Earthy period T_{Ea} for the unity of series Γ , we obtain the sequence of periods $T_i = \Phi^i$ being presented in col. 4 of tab. 1; in parallel with it, consider its basic replenishment — the series $\Gamma_2 = \Gamma^*$ with terms $2\Phi^i$ (col. 5), and their correlatives — the Fibonacci series v and u (cols. 2 and 3). Then, analysis [15] of Φ -correlations of considered periods results in the following conclusions.

1. All the objects, including the comet Halley, or their main harmonics specified by their place in the planetary series (e.g. 6 for Uranus in series P) coincide with terms of series Γ or Γ^* with an average error of 0.9 %. In this sense the ATS describes the Solar-planetary synchronism with the use of both natural and Φ -harmonics.

2. As far as $\Phi^5 \approx 11.09$ (viz. $\Phi^5 \approx T_o$ (0.2%)) it becomes clear, that if the value T_o is accepted for the time unity instead of Earth year, then, within the accepted accuracy, all these periods decrease their absolute values in Φ^5 times, but remain within the ATS (viz. continue to take the terms of Γ or Γ^*). This allows us to suggest that *the average length of the Solar cycle T_o should be considered as the true time unity of the Solar system*. The more so because both of the Solar rotation periods fit these series: $t_o \approx 2 \cdot \Phi^7$ (0.3 %), $\tau_o \approx \Phi^{12} T_o$ (0.06%).

3. Φ -harmonics retain exclusive stability in contrast to natural ones. Thus, within the specified error δ_* , the increase in ratio of $k = T_a / T_b$ results in a situation when harmonic resonance $T_a = k T_b$ takes place at a number of harmonics: $T_a = k_i \cdot T_b$, ($i = 1, 2, \dots, n$); e.g. for the fundamental period $T_P = 520$ yr and $T_{SR} = 0.0344$ yr at $\delta_* = 1\%$ we obtain that $k = 520 / 0.0344 = 15116$, $k_1 = k - k\delta_* \approx 14965$, $k_2 = k + k\delta_* \approx 15267$. This means that the period T_{SR} might be corresponded with $N = k_2 - k_1 = 303$ harmonics of T_P . For Φ -harmonics such spreading of resonance is impossible; for the above periods we obtain that $k = 15116$ fits $\Phi^{20} = 15127$ within the comparison error of $\delta = 0.07\%$, whereas $\Phi^{19} \approx 9349$, $\Phi^{21} \approx 24476$. This stability allows us to consider the ATS terms as the equally exact unities of time, since the equality $\Phi^n = \mu_n \Phi + \mu_{n-1}$ allows us to reveal a synchronism between the given period and Φ -harmonic of any order n .

4. Due to its physical influence and Golden section position among the planetary periods in Γ , the basic Solar cycle period T_o can be considered as occupying the heart of this structure; the more so that it comes to close natural and Φ -harmonical synchronism with the main Solar system, Solar rotation and Eta Carinae (see para. 6.2) periods.

5. By taking into account physical actuality of the Hale cycle and allocation of sunspots at the meridian of the Sun on its opposite side, we can conclude that the series Γ^* containing the periods t_o , $2 \cdot T_o$ is as actual as Γ .

Apart from the considered synchronism in Solar-planetary periods, within the accepted accuracy of

$\delta_* = 1\%$ the basic periods of a large amount of phenomena in Nature and society with the periods of up to hundred years also coincide [15] with the terms of series Γ or Γ^* , as well as with the associate Fibonacci series u and v . But some new results are worth mentioning as they widen the range of these correlations to seconds and to dozens of millennia.

ATS as a clock cycle of brain waves. By paying special attention to use of powers of Golden section and value 2Φ for describing harmonics of Electroencephalogram (EEG), Weiss H. and Weiss V. have shown that «The metric of brain waves can always be understood as a superposition of n harmonics times 2Φ ... From this Liberson had drawn the conclusion that «all significant channels in EEG could be n multiples of one fundamental frequency of about 3.3 Hz» [5]. However, much more exact approximation $n \cdot f$ for EEG harmonics can be obtained, if one uses for the fundamental frequency f the term Φ^{38} of Γ instead of an arbitrary value $2\Phi \approx 3.24$ (Hz). Indeed, as the term $\Phi^0 = 1$ is taken in Γ for a year, in seconds it makes $365.24 \times 24 \times 60 \times 60$ and, hence, $\Phi^{38} \text{ yr} \approx 0.36105 \text{ s.}$, which is corresponded to the frequency $\eta_{38} = 1 / \Phi^{38} \approx 2.77$ (Hz). Show now that this value as a main frequency f makes significantly better approximation for the basic EEG harmonics than 2Φ .

Firstly, the linear regression line L for the considered model [5] of EEG harmonics (without the last outlier EEG harmonic 29, which significantly deviates from a linear model) goes almost exactly through the ATS-engendered values $f_n^* = \eta_{38} \times n$, whereas the values of $f_n = 2\Phi \times n$ diverge noticeably from L (all values of f_n^* are closer to L , than the values of f_n , except of the last one). This is so because the use of value η_{38} for the fundamental period gives more exact approximation than the value 2Φ (5% vs. 11% in error), whereas considering of more exact regression (without the outlier 29) gives even more contrasting result — 1% and 16% respectively. Comparing of variances for these approximants supports the same conclusion: F-ratio for variances makes 1.89 and 5.41 (without the last harmonic of 29) for the critical value of 3.8 at 5% confidence level.

Therefore, although the value $\eta_{38} = 1 / \Phi^{38}$ (Hz) does not «resemble» digits of the Golden section, it approximates the brain frequency distribution with significantly greater accuracy than the suggested value 2Φ (Hz), comes from Φ as a term of series Γ , and sets up direct correlation with the Earth year and Solar cycle. Therefore, the term Φ^{38} can be considered as the *true fundamental period of brain waves*.

ATS as a reference scale for supercycles. Consider now how the most reliable and quite accurately evaluated periods of greater length being found in Solar and terrestrial cycles correlate with the ATS terms. To this end, the concluded set of well-acknowledged periods [6] provides us with such spectrum of cycles (only six ATS periods of 48 that cover the range of 1 to 2207 years are not met in this spectrum; this may have a clear

explanation: they are large enough to be revealed in the existent short-prehistory samples).

All these values are given in tab. 2 (cols. 1, 3); they are obtained while studying cosmogenic Carbon-14, aurorae, geological laminations, and other millennia-long samples. Besides, some duplicating values are given with asterisk, if they are specially marked in bibliography, as well as periods exceeding the value 2289 yr, which were revealed in analysis of precession of Earth orbit and other effects [3].

Table 2
Most reliable periods in Solar and Terrestrial cycles

Period	ATS term	Period	ATS term
43-45	47	305-314	322
51-52	55	415-425, 400*	398
57-59	58	554-569*, 500*	521
63-67	123/2	600	610
78.8 ± 3.3	76	955*	987
85-90, 89.4*	89	1020-1070*, 1100*	1042
104-105 (?)	94, 123	1325*	1364
143-148	144	2289*, 2200*	2207
154-157	152	3600*, 3780*	3571
177-227	199	19 000*	18698
260-280, 256*	246	23 000*	24476
		40 000*	39603

Tab. 2 provides us with systematic and evident confirmation of ATS consistency in the capacity of a discrete scale of Solar cycle periods and their Terrestrial correlatives. In particular, we may conclude the following.

1. An attempt to harmonically correlate the revealed Solar and Terrestrial cycles has evidently failed, even with treating of summation of periods. On the contrary, we see that each actual period quite accurately fits some term of ATS. Though this synchronism with Φ -harmonics is inexplicable from the viewpoint of the conventional resonance theory, as a matter of fact we can state that ATS synchronizes the major part of the basic periods in Nature and society.

2. Variations in Solar cycle lengths, planetary modulation and other effects result in fuzziness of Solar cycle harmonics and Terrestrial periods. Nevertheless, we see, especially for the supercycles, that with a high accuracy the revealed actual periods «go» just by the ATS «steps», and the longer the cycle, the higher the accuracy of this synchronism.

3. Close ATS-term/natural-period correlations leave us very little hope to await that all these coincidences are random for such a great interval of values.

5.3. ATS: the benchmarks of evolutionary time. Like ATS describes a wide spectrum of fundamental periods in nature and society, the finite part of the same Auric Scale (1), in contrast to conventional consideration of fixed length cycles, describes the «evolutional» time as the sequence of periods of decreasing duration so that

the major events occur within the vicinities of the *separation epochs* between the successive intervals of lesser and lesser length. In this sense, the «historical» time could be considered as «compressed». In order to verify this statement, a synchronism was established between the separation epochs defined by the Mayan Calendar and the most prominent events in Nature (all known geomagnetic inversions, flashes of Supernovae, most destructive earthquakes, etc.) and society (coming of Greatest Reformers, millennia trend in growth of population of China, et al) for the available data covering the last 13 millennia [16]. This way, the ATS might be likened to the Auric Spiral of Time, the turns of which, as fractals, are better described by the Aurically structured trends, whereas at each turn the phenomena are more adequately seen via the harmonic cycles of equal duration, unless this spiral approaches the point of bifurcation.

5.4. Resume. The discrete nature of ATS, the range of Solar and Terrestrial periods it covers, and the accuracy of correlations between its terms and the periods considered in applications and differed by orders allow us to consider this scale as the searched structure that «quantifies» time both over the spectrum of known periods and stretch of «historical» time, at least for a dozen of millennia.

6. Regular Model for Solar cycle maxima distribution

6.1. Direct and Regular models. By taking into account that general level of SA is not formally defined, the correlation between the Solar radio flux and the Wolf number is astoundingly good on both monthly and yearly basis, the SSN statistics is provided with the largest prehistory and sunspots precede other Solar effects, the SSN index is considered below as the general index of SA. At the same time, as far as almost nothing is known about what makes the cause of development of Solar cycles, we are not required to consider them as a sequence of totally dependent processes.

In order to find a model describing the integral behaviour of Solar cycles, the accepted cycle maxima epochssince 1605 were considered [17, 18]. The problem was stated as follows: find an approximating model that gives unbiased and consistent point and interval estimates for Solar cycle maxima epochs (peaks, for short) for decades, which is stable and statistically preferable to the known ones. Source data (*L-sample*) for development of such model are presented by $n=36$ SSN maxima epochs [7] with absolute error not less than 0.1 yr, which cover all telescopic observations over 17 to 20 centuries; *S-sample* covers the Zurich series of observations. At this, the «conventional» and proposed models of SSN peak distribution were considered:

Direct model. Let $\tau > 0$ be a random variable and t_{i-1} be the last actual peak. Then, the value τ_i taken by τ defines the *next* actual peak as follows $t_i = t_{i-1} + \tau_i$.

Regular model. Let a sequence $\dots, t_j^*, t_{j+1}^*, \dots$ satisfy to

$$t_{j+1}^* = t_j^* + T, T = \text{Const.} \quad (12)$$

Then, the value δ_j defines the actual peak with number j

$$t_j = t_j^* - \delta_j. \quad (13)$$

We imply that $T = T_0$ and use the estimate (8), $T_0 = 11.07$, which gives [18] the following epochs for model peaks

$$t_k^* = 1605.27 + 11.07 \cdot k, (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots), \quad (14)$$

where $k=0$ corresponds to the first observed maximum, and $k=35$ – to maximum of cycle 22; negative values provide extrapolation in prehistory of 1600. With this model, our interest focuses on the distribution of deviations $\{\delta_j\}_j$.

6.2. Basic properties of Regular Model. The deviations $\delta_j = t_j^* - t_j$ of (13) show double-sided Relay distribution, one side of which is flatter. Due to F-criterion the variances for L and S sample deviations can be adopted as equal, while t-criterion shows that the difference in 0.2 year between S and L model peaks can be accepted as insignificant; this difference is insignificant from practical point of view as well. But much more important conclusions that are obtained without statistical concepts and in spite of rough source data specify that the Regular model:

(i) allows us to forecast SSN maxima over a time period of up to two centuries (which is incomparably exceeds any existing approach based on a direct-type model) with less error than it does the direct model for just one Solar cycle;

(ii) shows clustering of maxima, which reveals an inexplicable discrete factor in Solar cycles. This means that 67 % (viz. 24 of 36 actual peaks) of observed SSN maxima epochs form the pairs (*clusters*) which present the same deviations from model peaks within insignificant error of 1-3 %; in other words, for the epochs t_i, t_j of the same cluster the ratio $(t_i - t_j)/T_0 = e_{ij}$ gives an *integer* (supercycle multiple) with an error of 10^{-3} . This event may be regarded as random, but with a ravishingly small probability of 10^{-11} .

The Regular model gives us a lucky chance to trace through it a *Solar-Stellar correlation*. The extreme members of supernovae might produce “*hypernovae*”, cataclysms hundreds of times more energetic still. At least one possible member of this putative class of hypernova is Eta Carinae [23]. Flashes of supernova are very important for this study, all the more that all of them that have been registered in our Galaxy over the last millennia are synchronous with the considered Auric epochs of the Mayan Calendar [16]. Even more so for the Hypernova. That is why the following correlations [19] are so important.

(i) In terms of cycle duration being inverse to the frequency of the events, the average period $T_0 = 11.07$ yr of Solar cycle presents the second harmonics of the basic

Eta Carinae radiation event cycle period of $T_{EC} = 5.5306$ yr with the accuracy of $\delta_0 = 0.08\%$.

Further on, by taking the accepted reference point estimation 2003.5, we obtain the Eta Carinae event distribution

$$\tau_i^* = 2003.5 + T_{EC} \cdot i, (i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (15)$$

Comparing of events (14) and (15) results in the following:

(ii) Within the existing two-centennial observations, the Solar cycles and Eta Carinae events present a synchronous, in the narrow sense, processes where the model peaks t_k^* of (14) present the most prominent Eta Carinae events with not less accuracy than the peaks τ_i^* defined by (15).

Hypothesis. A relative stability of the Regular model over the two millennia allows us to assume that Eta Carinae presents a Master-Clock for the Solar Cycles; namely, that: (i) the highly exact coincidence of the average duration T_0 Solar cycles and doubled value T_E of the basic Eta Carinae's period T_{EC} , as well as the *synchronism* between the events they define are *not random*; (ii) the huge emissive power of *Eta Carinae*, in comparison with the Sun, assumes it to be a *master generator for the Sun* for this pair of stars.

6.3. Resume. In (12)–(14) we firstly meet a discrete component in a system which is conventionally considered as a continuous one. In other words, *the Solar maxima epochs show a trend to develop at the discrete distances of the model epochs t_k^* , while the same deviations δ_k of actual maxima repeat in an integer number of T_0* . However, the Regular model by itself has not yet allowed us to reveal the internal structure of Solar cycles. For disclosing it, we are required to take into account more detailed data than smoothed SSN and subjective criteria.

7. Solar cycle median

With the aim to increase the resolving capacity of Regular model, we are required to *define a quantity* that can reflect definite physical property of SA with the use of a *sample* presenting the *actual values of some index of SA*. For the considered reasons, this criterion must not rely upon a *single-modal concept* of Solar cycle; the more so that during an 11-year cycle not one, but *two SSN maxima* are frequently developed (M. Gnevishev), relative to latitudinal distribution of sunspots, which are separated by two-tree years.

As to a Solar index, no substitute exists for sunspot number. However, use of monthly mean sunspots in standard *Ri* units [7] (SSN, for short) instead of smoothed values allows us to increase a source data accuracy by an order of values, since the former ones present epochs with an error of half a month (instead of tenth of a year) and do not distort the SA magnitude in contrast to latter ones that may shift a maximum by months. On the contrary, turning down of daily SSN allows us to filter out those variations in SSN which are insignificant for analysis of a cycle.

7.1. Definition of Solar cycle median. The average cycle duration $T_0 = 11.07$ presents a stable and unbiased integral characteristic of Solar cycles. For obtaining a function $F(S)$ that specifies an epoch of cycle energy emitting centre as a consistent characteristic of a cycle, consider a sample $S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ of monthly mean SSN, with the first and last values associated with the cycle bounds. We demand for this function to satisfy the following requirements.

1. $F(S)$ is *stable* in mathematical sense: small variations in bounds of S affect the epoch $F(S)$, but insignificantly.

2. $F(S)$ reflects a Solar cycle energy distribution centre.

3. The accuracy of $F(S)$ must be estimated.

For the basic claimants to this characteristic the following concepts may be considered: cycle maximum, M_r [7]; SSN monthly maximum, M_x , — the epoch of maximal value in S ; mode, M_o , — the epoch of maximum of a least power unimodal smoothing polynomial for sample S , which is used as an estimation for a cycle «maximum» (6th power suffices this goal); median, M_e , — the median for S .

Though the first three quantities reflect one or another integral property of a Solar cycle, none of them satisfies all the above requirements. Thus, the shortcomings of M_r were considered above. The value M_x presents basically a local feature of Solar cycle and can lie far from any other integral «maximum». M_o is sometimes used in predictive purpose (e.g. [10]), but its basic disadvantage lies in arbitrariness in specifying the «best» smoothing polynomial. For this reasons, they are considered below, but as the subjects for comparison.

Consider now the concept of median in more detail. Let a sample S present monthly mean SSN for months $M_S = (t_1, t_2, \dots, t_n)$. Since SSN reflects general level of SA, a value s_i presents a monthly averaged daily Solar emissive power, or a monthly averaged daily intensity of energy radiation. If $z(t)$ presents a continuous analogue of s , the total Solar cycle energy emission E can be approximated on a monthly basis as follows:

$$E = \int_{t_1}^{t_n} z(t) \cdot dt \approx \sum_{i=1}^n s_i \cdot 1 = \sum_{i=1}^n s_i. \quad (16)$$

In continuous case, the epoch t^* is called *median*, if this point specifies the integral centre of distribution $z(t)$

$$\int_{t_1}^{t^*} z(t) \cdot dt = \int_{t^*}^{t_n} z(t) \cdot dt = \frac{E}{2}. \quad (17)$$

So, in the considered context, median presents the centre of total Sun's energy radiation over a Solar cycle.

7.2. Stability of median. For a discrete analogue S of $z(t)$, estimate the epoch of median M_e by the middle of the month i^* where t^* resides. So, if

$$E_M = \sum_{i=1}^n s_i, \quad \sum_{i=1}^{i^*-1} s_i < \frac{E_M}{2}, \quad \text{and} \quad \sum_{i=1}^{i^*} s_i > \frac{E_M}{2} \quad (18)$$

then i^* is taken for the median M_e . It is stable in a sense of selection of time unity. Indeed, let $\{\zeta_k\}_{k=1,2,\dots,K}$ present K daily values for the same time interval, and, for simplicity, all months be of equal duration m . For these values the sum, similar to (18), after grouping by months makes

$$E_D = \sum_{k=1}^K \zeta_k = \sum_{i=1}^n [\text{sum of daily values over month } i] \approx \sum_{i=1}^n [m \text{ times the monthly mean } s_i] = m \cdot \sum_{i=1}^n s_i. \quad (19)$$

Hence, E_D differs from E_M by a scale factor m (average number of days in a month). At this, if the median day ζ^* is close to first (last) days of the month, it may get off the month i^* due to a difference between m_i and m , but with an insignificant probability, since the left and right sides of sample S (with respect to i^*) are long enough (up to 5 years) and, in average, compensate for this small error.

As far as the median ζ^* can be taken for the true one, we can conclude that, almost for sure, the true median t^* fits the month i^* and deviates from its centre by no more than 0.5 (month). Therefore, the error for the median estimate i^* does not exceed half a month, or

$$\Delta_{Me} \approx 0.5 \frac{1}{12} \approx 0.042 \text{ yr}. \quad (20)$$

Note, that this stability and accuracy cannot be attributed to a median, if *smoothed* monthly mean SSN is used.

Show now that median is stable with respect to selection of bounds of Solar cycle (the epochs of minima). As in existing approaches [7], in obtaining a median i^* in (18) we also have to define the epochs of minima, but this time the influence of sample bounds is not significant. For concreteness, consider the SSN over the last 50 years. Their values, in a several month vicinities of Solar maxima, were from 100 to 254; say 150 in av. For months of minima, these values were from 0 to 12; say 5 in av. Assume for simplicity that median M_e hits the middle of month i^* exactly. Then, new median M_e corresponds to the accumulated value

$$\sum_{i=1}^{i^*-1} s_i + 150/2 = \sum_{i=1}^{i^*-1} s_i + 75 = \frac{E_M}{2} \text{ (units).}$$

Hence, an error of ± 6 months in defining of the left minimum (month t_1) will change the value of E_M by ± 30 units: $(\pm 6 \text{ months}) \times (5 \text{ units a month}) = \pm 30$ units; in its turn, this shifts the former median to a position of $E_M/2 \pm 30/2$. This means that new median is ± 15 units shifted relative to the former one. But the value 75 ± 15 still remains within the month i^* , and only an

error in $x = \pm 30$ months, which can be obtained from the equation $(\pm x \cdot 5)/2 = 75$, may push out the median from the original month. Of course, cycles with such low SSN do not observed normally, and only at random a median may hit the centre of month. But this qualitative proof allows us to exclude mathematics for the sake of clarity. Hence, a *monthly mean SSN median* provides us with a *stable characteristic of Solar cycle* (with respect to variation of cycle bounds, transfer to daily SSN and other Solar indices), which presents the *centroid of Solar cycle Energy emission*; by order of value, its error is $\Delta_{Me} \approx 0.04$ year. Therefore, as it satisfies the stated requirements, the median M_e can be taken for the searched consistent characteristic of Solar cycle.

7.3. Medians for Zurich series. The medians for the Zurich series, together with cycle modes and monthly maxima are given in tab. 3. They are obtained as described above, with the use of monthly mean SSN [8]. Sample bounds correspond to cycle minima [7]; by allowing for its incompleteness, for the current, 23rd cycle, a symmetric time span is taken. For convenience, these values are completed with the official cycle maxima [7].

Table 3

Epochs of basic characteristics of Solar cycles

Zurich No.	Maximum M_r	Median M_e	Mode M_o	Month.max. M_x
1	1761.5	1761.29	1761.46	1761.38
2	1769.7	1770.54	1770.13	1769.79
3	1778.4	1779.29	1778.92	1778.38
4	1788.1	1789.38	1788.40	1787.96
5	1805.2	1803.96	1803.96	1804.79
6	1816.4	1817.13	1817.14	1817.21
7	1829.9	1829.38	1829.79	1830.29
8	1837.2	1837.96	1837.33	1836.96
9	1848.1	1849.04	1848.47	1847.79
10	1860.1	1861.04	1860.25	1860.54
11	1870.6	1871.38	1871.20	1870.38
12	1883.9	1883.63	1883.72	1882.29
13	1894.1	1894.38	1893.83	1893.63
14	1907.0	1906.96	1906.75	1907.13
15	1917.6	1918.04	1917.85	1917.63
16	1928.4	1928.13	1927.95	1929.96
17	1937.4	1938.54	1938.01	1938.54
18	1947.5	1948.63	1948.28	1947.38
19	1957.9	1958.54	1958.19	1957.79
20	1968.9	1969.79	1969.09	1969.21
21	1979.9	1980.88	1980.52	1979.71
22	1989.6	1990.71	1990.3	1990.63
23	2000.3	2001.21	2001.16	2000.54

8. Regular Model for Solar Cycle Medians (RMM)

8.1. RMM. Apply the Regular model concept (12) with the same value $T_o = 11.07$ yr of average cycle length, but this time – to 23 medians of Zurich series. This gives the following epochs for Zurich cycle ($i \geq 1$) model medians

$$M_i^* = 1760.396522 + T_o \cdot (i - 1), (i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots). \quad (21)$$

For pre-Zurich medians (for retaining Zurich numbers), the conventional maxima [7] are taken for the purpose of comparison; in (21) they are corresponded by model medians with numbers $i = -12, \dots, 0$. The basic values associated with this model are presented in tab. 4. The calculated (18) medians M_e are given in col. 2, the model (21) ones – in col. 3, and their difference – in col. 4.

Table 4

Calculated vs. Model Medians

Cycle N. i	Median M_i	Model Median M_i^*	Deviation $d_i = M_i - M_i^*$
1	2	3	4
-12	1615.5	1616.487	- 0.987
-11	1626.0	1627.557	- 1.557
-10	1639.5	1638.627	0.873
-9	1649.0	1649.697	- 0.697
-8	1660.0	1660.767	- 0.767
-7	1675.0	1671.837	3.163
-6	1685.0	1682.907	2.093
-5	1693.0	1693.977	- 0.977
-4	1705.5	1705.047	0.453
-3	1718.2	1716.117	2.083
-2	1727.5	1727.187	0.313
-1	1738.7	1738.257	0.443
0	1750.3	1749.327	0.973
1	1761.29	1760.397	0.893
2	1770.54	1771.467	- 0.927
3	1779.29	1782.537	- 3.247
4	1789.38	1793.607	- 4.227
5	1803.96	1804.677	- 0.717
6	1817.13	1815.747	1.383
7	1829.38	1826.817	2.563
8	1837.96	1837.887	0.073
9	1849.04	1848.957	0.083
10	1861.04	1860.027	1.013
11	1871.38	1871.097	0.283
12	1883.63	1882.167	1.463
13	1894.38	1893.237	1.143
14	1906.96	1904.307	2.653
15	1918.04	1915.377	2.663
16	1928.13	1926.447	1.683
17	1938.54	1937.517	1.023
18	1948.63	1948.587	0.043
19	1958.54	1959.657	- 1.117
20	1969.79	1970.727	- 0.937
21	1980.88	1981.797	- 0.917
22	1990.71	1992.867	- 2.157
23	2001.21	2003.937	- 2.727

8.2. Statistical analysis of Regular Model. Analysis of tab. 3 acknowledges close time correlation for the considered characteristics. Thus, all correlation coefficients exceed 0.999. With respect to squared and Chebyshev's deviation, the closest of them are cycle medians and modes with rms 0.446 yr and maximal deviation 0.98 yr. Second in turn is the concordance between the cycle maxima and modes, with rms 0.525 yr and maximal deviation 1.24 yr.

Table 6

Z-median distribution over the series Γ , Γ^*

Term γ_k of ATS		Deviation d_i		Error δ_i
Sign	Value	i	Value	
1	2	3	4	5
φ^6	0.056	18	0.043	0.013
		8	0.073	0.017
φ^5	0.090	9	0.083	0.007
$2 \cdot \varphi^4$	0.292	11	0.283	0.009
$2 \cdot \varphi^2$	0.764	5	-0.717	0.047
$\varphi^0 = \Phi^0$	1.000	1	0.893	0.107
		21	-0.917	0.083
		2	-0.927	0.073
		20	-0.937	0.063
		10	1.013	0.013
		17	1.023	0.023
		19	-1.117	0.117
$2 \cdot \varphi^1$	1.236	13	1.143	0.093
		6	1.383	0.147
Φ^1	1.618	12	1.463	0.155
		16	1.683	0.065
$2\varphi^0 = 2\Phi^0$	2.000	22	-2.157	0.157
Φ^2	2.618	7	2.563	0.055
		14	2.653	0.035
		15	2.663	0.045
		23	-2.727	0.109
$2 \cdot \Phi^1$	3.236	3	-3.247	0.011
Φ^3	4.236	4	-4.227	0.009

Show now that RMM is stable to choice of samples. By applying the model (12) with $T_0 = 11.07$ yr to other characteristics of tab. 3, we obtain the model epochs that are given in tab. 5. Their accuracy is estimated by rms for the actual and model epochs. In parallel, these epochs were calculated for the sample means instead of T_0 (the respective mean and rms values are given in brackets).

It is clear from tab. 5, that use of «own» means instead of T_0 coarsens the results. At the same time, we observe sufficient stability of the model epoch of 1760 for $T_0 = 11.07$ yr for all characteristics, as well as for the reference epoch 1760.25 of model (14) that allows for estimate maximum of 1604. At this, the RMM, even though the conventional maxima substitute the pre-Zurich values in E-series of medians, shows the least variance, which probably can be attributed to exclusion of subjective factors. For these reasons, and with taking into account that growth of amount of sample increases the accuracy, we may choose the average of these most significant dates for a common reference epoch, at least – for cycle maxima and medians

$$M_{Av} = \frac{1}{3}(1760.397 + 1760.21 + 1760.547) = 1760.385. \quad (22)$$

Table 5

Regular model epochs for Z- and E-series

RM for:	Zurich series (n=23)		Extended series (N = 36)	
	Model epoch	rms	Model epoch	rms
1	2	3	4	5
Maximum, M_r	1759.87	2.26 (10.86, 2.6)	1760.21	2.02 (10.99, 2.0)
Median, M_e	1760.40	1.87 (10.92, 2.2)	1760.55	1.72 (11.02, 1.7)
Mode, M_o	1760.09	2.03 (10.90, 2.3)	—	—
Monthly max. M_x	1759.97	2.34 (10.87, 2.7)	—	—

8.3. Error-bound analysis of RMM. For the RMM of (21), correlate Z-series median deviations $d_i = M_i - M_i^*$ (tab. 4, col. 4) with respective terms of series Γ , Γ^* as shown in tab. 6, and for E-series – in tab. 7, where error $\delta_i = |\gamma_k - d_i|$ gives absolute deflection of d_i from respective ATS term γ_k . All values in these tables, except of col. 3, are given in years.

Tab. 6, tab. 7 present the distribution of Z- and E-series median absolute deviations $\{|d_i|\}_i$ over the terms $\gamma_k \in S = \{\varphi^6, \dots, \Phi^3\}$ of the series Γ , Γ^* (median distribution, for short); if the terms of series Γ^* are not included, denote this series S^* . The largest value of series S corresponds to the greatest deviation, whereas

the smallest one – to the source data error (20) since in this direction the terms of ATS series converge to zero.

It is clearly seen from these tables that modulus of each deviation fits some term of series S , whereas absence of deviations for the remaining terms of these series can be attributed to a small amount of observations. Indeed, we see that increase in number of observations (tab. 7 vs. tab. 6) leads to eliminating of these gaps. Evaluate now the closeness of this correspondence.

Firstly, estimate an error of discrepancy between the deviations and S -series terms. Thus, the average errors for col. 5 of both tables make 0.063 and 0.058, resp., or $\delta_A = 0.06$ yr for Z- and E-series. However, for the series S^* these errors are 0.11 and 0.13, or $\delta_A^* = 0.12$ yr for both ones. This twice as much reduction in error caused by allowing for both series, Γ and Γ^* , supports the suggestion that the latter series is as actual as Γ .

As well, in continuation of the above analysis of closeness of various Solar cycle characteristics we obtain that the similar average errors for cycle mode (M_o), monthly (M_x) and official (M_r) maxima deviations from the Regular model medians for the same S series are small enough and show almost the same values (tab. 8).

Therefore, as far as the average error δ_A of discrepancy between the deviations of medians (against

Table 7

E-median distribution over the series Γ , Γ^*

Term γ_k of ATS		Deviation d_i		Error
Sign	Value	i	Value	δ_i
1	2	3	4	5
φ^6	0.056	18	0.043	0.013
		8	0.073	0.017
φ^5	0.090	9	0.083	0.007
$2 \cdot \varphi^4$	0.292	11	0.283	0.009
		-2	0.313	0.021
$2 \cdot \varphi^3$	0.472	-1	0.443	0.029
		-4	0.453	0.019
$2 \cdot \varphi^2$	0.764	-9	-0.697	0.067
		5	-0.717	0.047
		-8	-0.767	0.003
		-10	0.873	0.109
$\varphi^0 = \Phi^0$	1.000	1	0.893	0.107
		21	-0.917	0.083
		2	-0.927	0.073
		20	-0.937	0.063
		0	0.973	0.027
		-5	-0.977	0.023
		-12	-0.987	0.013
		10	1.013	0.013
$2 \cdot \varphi^1$	1.236	17	1.023	0.023
		19	-1.117	0.119
		13	1.143	0.093
Φ^1	1.618	6	1.383	0.147
		12	1.463	0.155
		-11	-1.557	0.061
$2 \cdot \Phi^0$	2.000	16	1.683	0.065
		-3	2.083	0.083
		-6	2.093	0.093
Φ^2	2.618	22	-2.157	0.157
		7	2.563	0.055
		14	2.653	0.035
		15	2.663	0.045
$2 \cdot \Phi^1$	3.236	23	-2.727	0.109
		-7	3.163	0.073
Φ^3	4.236	3	-3.247	0.011
		4	-4.227	0.009

Table 8

Error for M_o , M_x , M_r against the RMM (21)

M_o	M_x	M_r
0.09 yr	0.12 yr	0.11 yr

the Regular model values) and respective terms S of series Γ , Γ^* corresponds to the source data error (20), and this error is stable with respect to increase in amount of observations, we can conclude that this distribution of Solar cycle median deviations over the ATS series reflects some objective, or functional dependence. With taking into account tab. 8 we may resume that cycle modes, monthly and official cycle maxima also follow this dependence.

8.4. Probability of randomness of median distribution.

For each term $\gamma_k \in S$ consider a segment I_k that contains both this value and those deviations which are referred to it. Let K be the number of such segments and N – the number of observations (23 for Z -series, and 36 – for E -series).

Assume that the deviations are uniformly distributed over the time interval $R = \Phi^3 \approx 4.2$ (yr) specified by series S , and i_k gives the length of interval I_k . Then, a single median fits one of intervals I_k by chance with a probability of $P_1 = (\sum_{k=1}^K i_k) / R$, whereas all N observation fit these intervals accidentally with a probability of $P_N = (P_1)^N$.

For series S consider three types of intervals which reflect average, actual and maximal dispersion of deviations around the terms γ_k . Define the former one as $\Delta_A = 2 \cdot \delta_A$. The actual interval Δ_D presents the maximal difference between the lowest and largest deviations, including γ_k itself. The maximal interval Δ_M makes twice the maximal difference between the term γ_k and deviations being referred to this term. The similar intervals for the series S^* are marked by asterisk.

For the considered samples (tab. 6, 7), the probabilities of randomness of median distribution are given in tab. 9. The last line contains the geometrical mean probability for the above values (arithmetical mean is not indicative as it retains the maximum of these values).

Table 9

Probability of randomness of median distribution

Interval	Z-series	E-series
Δ_A	8×10^{-12}	5×10^{-18}
Δ_A^*	4×10^{-9}	2×10^{-9}
Δ_D	6×10^{-14}	5×10^{-19}
Δ_D^*	5×10^{-9}	4×10^{-9}
Δ_M	2×10^{-10}	3×10^{-13}
Δ_M^*	2×10^{-6}	2×10^{-5}
for S	4×10^{-12}	9×10^{-17}
for S^*	3×10^{-8}	5×10^{-8}

Here, as well, we see that transfer from series S to S^* decreases the probability in 4 orders for Z -series and by 9 orders for sample E -series, which gives an additional argument in support of use of both basic Auric series.

9. Conclusion

As it was established earlier, the Golden section power series Γ , Γ^* with the time unity equal to the average Solar cycle length T_o form the Time Scale whose discrete values define both the basic structure of Solar system and Terrestrial periods, and the crucial epochs in historical time. New evidences are given in this work that testify to the trustworthiness of this thesis, which include

a wide spectrum of phenomena with periods from 30 yr to several dozens of millennia, and periods of brain waves, as well as more support for the chosen value of T_0 .

Absolutely new result of this study is the revealed Golden section structure of Solar cycles in the sense that medians deviate from the regularly distributed epochs by the discrete values being equal to the terms of series Γ , Γ^* . Moreover, even cycle modes, monthly and official maxima also follow this distribution. This result acquires greater importance since the median presents a stable characteristic of Solar cycle energy emission centre. The presented conclusions are based on error and probabilistic analyses which show that the accuracy of the obtained correlations corresponds to the source data precision, whereas the probability of randomness of median distribution is negligibly small and makes $10^{-12} \div 10^{-17}$.

Thus, in contrast to employing of existing approaches to detection of Solar cycle harmonics and critical epochs, the use of ATS terms and medians allows us to reveal and qualify the respective Solar cycle features with a significantly greater accuracy and, therefore, confidence.

However, although we can say now that δ_j in (13) takes the values of terms of series Γ , Γ^* , it still remains unclear what underlies the choice of this or that term.

References: 1. Kurochkin N.E. The Sun as a Variable Star: Activity Periodogram and Forecast of High Maxima. *Astronomical and astrophysical transactions*. 1992. Vol.1. P. 305-311. 2. Landscheidt T. Sun-Earth-Man: a Mesh of Cosmic Oscillations. London: Urania Trust, 1989. 112 p. 3. Циклы природы и общества// Вып. 1, 2. — Докл. 3 Междун. конф. «Циклы природы и общества». Ставрополь: Ставропольский ун-т, 1995. 358 с. 4. Чижевский А.Л. Космический пульс жизни. М.: Мысль, 1995. 768 с. 5. Weiss H., Weiss V. The golden mean as clock cycle of brain waves// *Chaos, Solitons and Fractals*. 2003. Vol. 18, № 4. P. 643-652. 6. Niroma T. Sunspot cycles and supercycles and their tentative causes. <http://personal.inet.fi/tiede/tilmari/> 7. Minima and maxima of sunspot number cycles

ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/maxmin.new. 8. Monthly mean sunspot numbers since 1749 to present ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/MONTHLY. 9. The National Geophysical Data Center (NGDC) www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR. 10. Solar Cycle 23 Project: Summary of Panel Findings. Sept. 9-25, 1996. www.sel.noaa.gov/info/Cycle23.html. 11. Summary Report of the Second Meeting of the Solar Cycle Prediction Panel. Sept. 8, 1997. www.sel.noaa.gov/info/SumSept.html. 12. Waldmeier, M., The Sunspot Activity in the Years 1610-1960, Zurich Schultess and Company, Switzerland, 1961. 13. Landscheidt T. The Cosmic Function of the Golden Section// *Kosmos*. 1995. № 4. P. 29-44. 14. Mignosi F., Restivo A., Salemi S. Periodicity and the Golden Ratio// *Theoretical Computer Science*. 1998. Vol. 204. № 1-2. P.153-167. 15. Smelyakov, S. The Golden Section in Synchronism of Solar Activity Cycles and Planetary Revolutions. Kharkov: UkrSib ABC, 1997. 80 p. 16. Смеляков С.В., Карпенко Ю.Б. Аурическая шкала периодов/ времени и ее верификация на феноменах естественного и исторического характера // *Радиоэлектроника и информатика*. 1999. № 1. С. 127-135; № 2. С. 128-134; № 3. С. 104-115. 17. Смеляков С.В. Регулярная модель прогнозирования эпох солнечной активности. Харьков: Харьков-Новости, 1994. — 32с. 18. Smelyakov S.V. Interval Approach for Super-long-term Forecasting of Sunspot Activity Maxima// *Numerical Methods and Error Bounds*. Berlin: Academie Verlag, Math. Res. 1996. Vol. 89. P. 255-260. (1996). 19. Смеляков С.В. Численная модель резонанса з Саг и 11-летних циклов солнечной активности // *Радиоэлектроника и информатика*. 2003. № 1. С. 120-122. 20. Wittmann A.D., Xu Z.T. Ancient sunspot data 165 B.C. to 1684 A.D. ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/ANCIENT_DATA/Abstract. 21. Schove D. J. The sunspot cycle, 649 BC to AD 2000// *Jour. Geophys. Research*. 1955. Vol. 60. 22. Cole T. W. Periodicities in Solar Activity// *Solar Physics*, 30, 1973, edited by D. J. Schove, 1983. 23. Eta Carinae Properties. <http://iagusp.usp.br/~damireli/etafacts.html>.

Received by Editorial Board on 06.12.2005

Поступила в редколлегию 06.12.2005

УДК 615.47:616-072.7

Н.К. Голобородько, Е.Н. Крутько, С.Н. Линник

МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Введение

В системах диагностики биологических объектов традиционно используют качественные и количественные методы оценки. Правильность постановки диагноза при качественной оценке несет субъективный характер и во многом определяются тезаурусом и интеллектом врача-диагноста. Количественная оценка базируется на использовании информационных показателей, полученных в результате спектрального и контурного анализа биологических сигналов, что нередко приводит к появлению избыточной информации и затрудняет ее интерпретацию, а также может привести к гипердиагностике патологий. Таким образом, задача минимизации количества информационных показателей, имеющих четкий физиологический смысл, является актуальной.

Особенно остро эта проблема проявляется при диагностике легочных патологий, т. к. до 50% случаев тяжелых травм оканчиваются летальным исходом из-за острой дыхательной недостаточности [1,2]. Одно из первых мест в отделении травматического шока института общей и неотложной хирургии Академии медицинских наук Украины занимают травмы грудной клетки, что в 90% случаев приводит к нарушению анатомической целостности и герметичности плевральной полости и легочной структуры [3]. Наиболее серьезным осложнением травмы грудной клетки является разрыв легкого с развивающимся в последствии гемопневмотораксом, а также отечным синдромом [4].

Бронхиальная обструкция, ее неравномерность, неоднородность механических свойств легких, нарушение архитектоники альвеол и бронхиол приводят к неравномерному распределению вдыхаемого воздуха и возникновению зон гипер- и гиповентиляции [5]. Нарушение перфузии связано в основном с повышением легочного сосудистого сопротивления за счет сужения прилегающих к альвеолам прекапиллярных легочных артерий и артериол, в случае локальной или общей альвеолярной гипоксии и окклюзии микроциркуляторного ложа [6, 7].

Сложность патогенеза легочной недостаточности, наличие множества диагностических показателей и параметров требует для определения характера и выраженности нарушений дыхания в каждом конкретном случае использования комплексного исследования с применением различных клинико-физиологических методов диагностики, методов

математического моделирования и элементов теории распознавания образов.

Целью статьи является поиск новых информационных показателей для диагностики посттравматических состояний легочной структуры.

1. Теоретические исследования

Процесс дыхания и кровенаполнения влияет на изменение общего электрического сопротивления грудной клетки. В зависимости от методики измерения это изменение зависит от воздухонаполнения и кровотока в легочной ткани, а также расстояния между электродами во время дыхательного акта.

$$\Delta R = \frac{\rho_{\text{вл}} \cdot l_{\text{вл}} - \rho_{\text{выд}} \cdot l_{\text{выд}}}{S}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{вл}}$ и $\rho_{\text{выд}}$ — удельное электрическое сопротивление данного участка грудной клетки на вдохе и выдохе, $l_{\text{вл}}$ и $l_{\text{выд}}$ — расстояния между электродами, S — площадь участка грудной клетки, заключенного в электрическом поле между электродами.

Площадь и длина участка грудной клетки, заключенного между электродами, на протяжении акта дыхания остается практически неизменной. Следовательно, изменение ΔR связано с колебаниями объема воздуха и крови в легочном сегменте, а также изменениями в плевральной полости. Для определения взаимосвязи между изменением электрических характеристик и объемных показателей исследуемого участка представим структуру легкого в виде гидродинамической системы. Течение крови по легочным сосудам зависит от многих физических параметров: радиуса и длины сосуда, кинематической вязкости крови, гидродинамического сопротивления и градиента давления в системе. Взаимоотношения между гидродинамическими параметрами системы описываются формулой Пуазейля [8]:

$$Q = \frac{\pi \Delta p l}{128 \mu l} \delta^4, \quad (2)$$

где Q — количество крови, протекающей через легочный сосуд за время t ; δ — внутренний диаметр легочного сосуда; Δp — градиент артериального давления; μ — кинематическая вязкость крови; l — длина легочного сосуда.

Интенсивность кровообращения легочного сегмента в основном зависит от изменения артериального давления, которое по своей физической природе не является ни статичным, ни однородным.

По аналогии с гидродинамическими системами, физическая неоднородность артериального давления определяется уравнением Бернулли [9], согласно которому сумма потенциальной и кинетической энергий давления для единицы объема есть величина постоянная:

$$E_{\text{п}} + E_{\text{б}} + E_{\text{к}} = \text{const}, \quad (3)$$

где $E_{\text{п}}$ — потенциальная энергия максимального градиента давления на участке гемодинамической системы, $E_{\text{б}}$ — кинетическая энергия бокового давления на стенки сосуда, $E_{\text{к}}$ — кинетическая часть энергии давления напора, которой обладает объем крови в сосуде.

Направление векторов бокового давления и напорного взаимно перпендикулярны. Направление и величина результирующего вектора зависят от величины гидродинамического сопротивления. Величина вектора бокового давления перпендикулярно току крови и приводит к пульсовым колебаниям, амплитуда которых зависит от упруго-вязких характеристик стенки сосуда. Направление вектора давления напора совпадает с направлением течения жидкости, а значение величины этого вектора зависит от линейной скорости движения жидкости.

Гидродинамическое сопротивление легочного кровотока зависит от величины воздухонаполненности легких. При 50 % заполнении воздухом легких (рис. 1а) мелкие сосуды выпрямлены, имеют наибольший диаметр и оказывают наименьшее сопротивление кровотоку. При дальнейшем увеличении воздухонаполненности легких сосуды удлиняются, их поперечное сечение уменьшается, что приводит к росту сосудистого сопротивления (рис. 1б). На гидродинамическое сопротивление также оказывает влияние повышение внутригрудного давления, что приводит к уменьшению возврата крови к сердцу по полым венам и их переполнению [10].

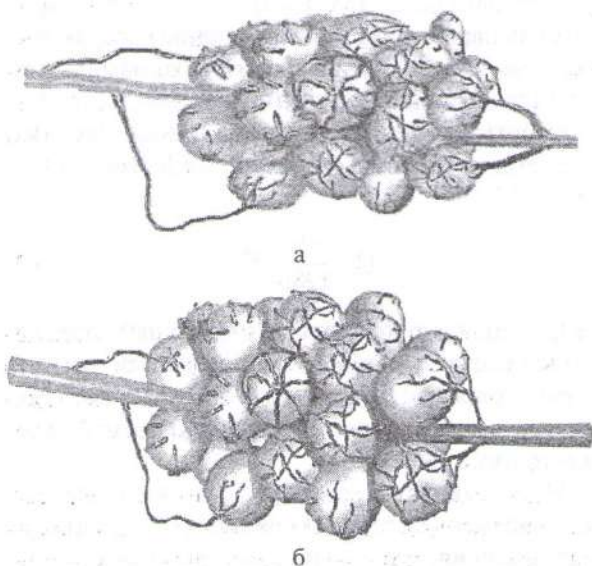


Рис. 1. Структура легочного сегмента

Теоретическое определение зависимости изменения гидродинамического сопротивления легочной структуры от величин воздухо- и кровенаполнения заключается в представлении легочного сегмента гидродинамической моделью и ее математическим исследованием. Исходя из анатомического строения сосудистой сети легких, ее можно представить как пористую среду, течение крови в которой происходит по проточным каналам (легочные сосуды в ткани легкого), окруженным закрытыми воздушными порами (альвеолы).

Рассмотрим основные модели. Модель *капиллярного* типа представляет цилиндрическое пористое тело длиной x , пористостью P , в котором имеется n капилляров на единицу поверхности в направлении каждого измерения со средним радиусом пор $\bar{\delta}$ и длиной l (рис. 2).

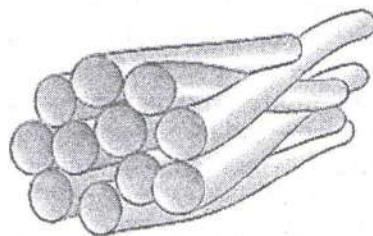


Рис. 2. Модель капиллярного типа

Если принять, что перепад давления равен Δp вдоль длины, описанной выше модели капилляра, то количество крови, протекающее через сегмент, согласно (2), имеет вид [11]:

$$Q = \frac{n\pi l \bar{\delta}^4 \Delta p}{8 x \mu x}. \quad (4)$$

Пористость капилляров определяется выражением

$$P = \frac{3}{4} n\pi \bar{\delta}^2 \frac{l}{x}. \quad (5)$$

Расход крови может быть найден из закона Дарси

$$Q = -\frac{kt dp}{\mu dx}, \quad (6)$$

где k — проницаемость среды. Исключая n из уравнений (4) и (5), получаем выражение для количества жидкости, прошедшей через пористую среду,

$$Q = \frac{1}{96} \left(\frac{l}{x} \right)^2 \frac{\bar{\delta}^2 t}{\mu} P \frac{(p_2 - p_1)}{x}. \quad (7)$$

Сравнив (6) и (7), получим:

$$Q = \frac{1}{96} \frac{P \bar{\delta}^2 t}{T^2}, \quad (8)$$

где $T = l/x$ — фактор извилистости.

Рассмотрим модель Козени [12], в которой пористая среда представлена совокупностью каналов с различным поперечным сечением, но определенной длины (рис. 3). Параметр пористости данной среды определяется выражением

$$P = \frac{S_n}{S_m}, \quad (9)$$

где S_m — площадь поперечного сечения сегмента, S_n — площадь поперечного сечения пор.

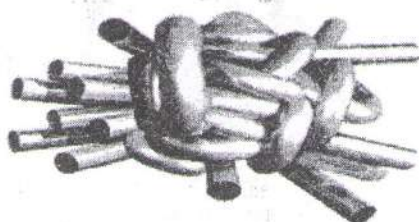


Рис. 3. Модель пористой среды (по Козени)

Для данной модели:

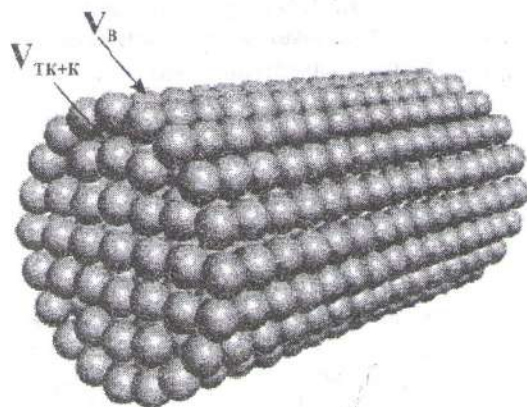
$$Q = \frac{cP^3 t}{\mu S^2} \Delta p, \quad (10)$$

где S — удельная поверхность трубки тока крови, c — постоянная Козени (для круга равна 0,5) [13, 14].

Теория Козени применима для различных пористых сред, т. к. постоянные c и T зависят только от компонентов структуры среды. Так для модели пористой среды, образованной из сферических частиц с диаметром δ , (рис. 4) объем проходящей крови за время t равен

$$Q = \frac{m^2 \delta^2 t}{96\mu(1-P)} \Delta P, \quad (11)$$

где m — просветность системы.



V_{TK+K} — объем крови и ткани; V_B — объем воздуха.

Рис. 4. Компоненты модели легкого, составленной из сферических частиц

Модели капиллярного типа описывают процессы, связанные с кровотоком легких, однако значительные колебания объема легких связаны с их воздухонаполнением. Поэтому, будем считать, что более подходящей моделью легких является модель, состоящая из сферических частиц. Пористость среды в данной модели определяется как отношение объема воздуха в сферических частицах V_B к общему объему сегмента легочной структуры V_L

$$P = \frac{V_B}{V_L} = \frac{V_L - V_{TK+K}}{V_L}, \quad (12)$$

где V_{TK+K} — объем легочной ткани и крови в исследуемом сегменте [15].

Объем воздуха определяется величинами остаточного объема на полном выдохе V_{oo} и дыхательного объема $V_{до}$ при вдохе

$$V_B = V_{oo} + V_{до}. \quad (13)$$

В условиях нормального функционирования легких объем легочной ткани V_{TK} и содержание крови V_K в сегменте изменяются при поступлении дополнительного объема крови V_{II} в результате сердечного выброса:

$$V_{TK+K} = V_{TK} + V_K + V_{II}. \quad (14)$$

При патологических изменениях структуры легочной ткани происходит процентное изменение содержания воздуха и жидкости $V_{ж}$ в исследуемом сегменте. Например, разрыв легочной ткани сопровождается заполнением пространства альвеол жидкостью, что приводит к уменьшению содержания воздуха в сегменте легкого и увеличению объема жидкости. Следовательно, пористость среды данной модели полностью отражает процессы дыхания и кровенаполнения сегмента легочной структуры при нормальном и патологическом состояниях.

В работе [16] для сред, состоящих из двух компонентов с различными электрическими свойствами, электропроводность определяется соотношением:

$$\gamma_{сис} = \gamma_n \left[\frac{\gamma_d + 2\gamma_n - 2(1-P)(\gamma_n - \gamma_d)}{\gamma_d + 2\gamma_n + 2(1-P)(\gamma_n - \gamma_d)} \right], \quad (15)$$

где γ_n , γ_d — электропроводность непрерывной и диспергированной фаз.

Зависимость удельного электрического сопротивления легкого при наличии непроводящих диэлектрических пор (альвеол) и токопроводящей среды (кровеносные сосуды и ткань легких) можно получить из уравнения (15) с учетом (12–14) в виде:

$$\rho_d = \rho_{TK} \frac{2 + \frac{V_{oo} + V_{до}}{V_L}}{2(1 - \frac{V_{oo} + V_{до}}{V_L})}, \quad (16)$$

или

$$\rho_{\text{л}} = \rho_{\text{тк}} \frac{2 + \frac{V_{\text{л}} - (V_{\text{тк}} + V_{\text{к}} + V_{\text{п}})}{V_{\text{л}}}}{2 \left(1 - \frac{V_{\text{л}} - (V_{\text{тк}} + V_{\text{к}} + V_{\text{п}})}{V_{\text{л}}} \right)} \quad (17)$$

где $\rho_{\text{тк}}$ — удельное электрическое сопротивление токопроводящей среды легких.

Тогда электрическое сопротивление данной среды R равно:

$$R = \frac{\rho_{\text{тк}} (2 + kP) \cdot l}{2(1 - kP) \cdot S}, \quad (18)$$

где l — длина, S — площадь, k — физиологический коэффициент, характеризующий структуру легкого.

Результаты расчета сопротивления (для модели легочного сегмента) в зависимости от изменения $V_{\text{до}}$ и $V_{\text{п}}$, при $\rho_{\text{тк}} = 250 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, $S = 12,56 \text{ см}^2$, $l = 10, 20 \text{ см}$ и $k = 0,008$ показывают, что увеличение объема воздуха приводит к росту дыхательной составляющей сопротивления (рис. 5), а увеличение объема кровенаполнения снижает пульсовую составляющую сопротивления (рис. 6).

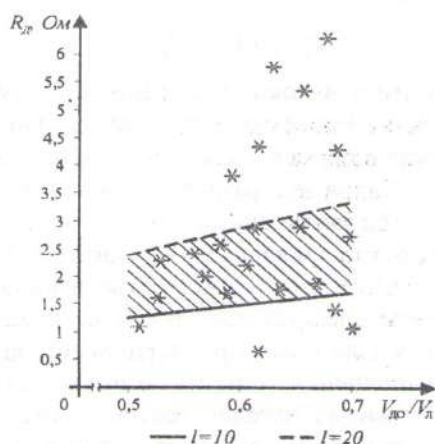


Рис. 5. Изменение дыхательной составляющей сопротивления

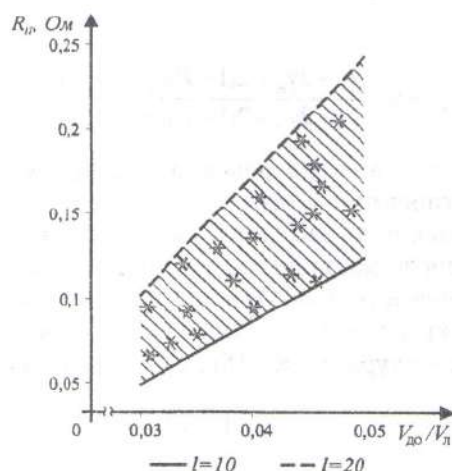
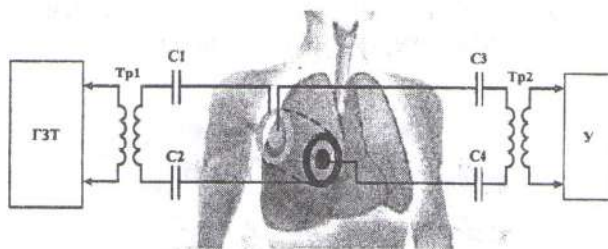


Рис. 6. Изменение пульсовой составляющей сопротивления

2. Экспериментальные исследования

Экспериментальное исследование сегмента легких проводилось в локализованном участке легочной ткани, с помощью тетраполярной системы специальных кольцевых электродов (токовый электрод с внешним диаметром 40 мм и внутренним 30 мм, внутри которого расположен потенциометрический электрод диаметром 10 мм) (рис. 7).



ГЗТ — генератор задающего тока; У — усилитель

Рис. 7. Измерительная схема

Ток от ГЗТ ($I = 2 \text{ мА}$, $f = 40 \text{ кГц}$) через трансформатор Тр1 и разделительные конденсаторы C1 и C2 подается на токовые электроды, расположенные на грудной клетке спереди и сзади исследуемого сегмента. Падение напряжения, пропорциональное изменению импеданса исследуемого участка, через разделительные конденсаторы C3, C4 и трансформатор Тр2 подается на усилитель У.

Было проведено исследование плевральной полости, легочной гемодинамики и вентиляции у 30 пациентов с травмами различных зон груди и степеней раздельно на вдохе и выдохе. Для сравнения характеристик пораженного и непораженного сегментов реограммы регистрировались в симметричных областях легких.

В начале производилось измерение базового сопротивления R_0 после полного выдоха с одновременной регистрацией пульсовых колебаний кровенаполнения $R_{\text{п}}$. После обычного вдоха производилось измерение дыхательной составляющей сопротивления $R_{\text{д}}$ с одновременной регистрацией пульсовых колебаний. В результате измерений установлено влияние дыхательной составляющей на форму колебаний пульсовой волны (рис. 8).

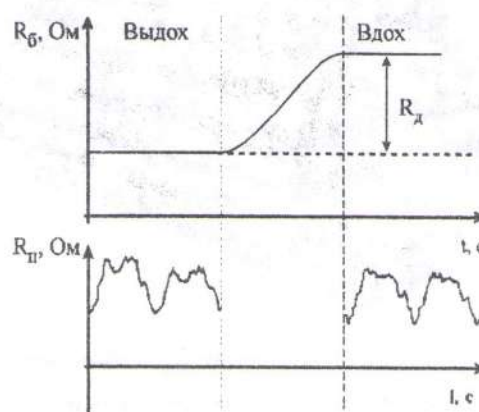


Рис. 8. Методика реографического исследования

3. Интерпретация результатов исследований

Диагностика легочных патологий основана на взаимосвязи изменения электрических характеристик импедансометрических сигналов от колебания объемных величин, составляющих структуру грудной клетки. Проведение диагностических исследований представлено алгоритмом (рис. 9).

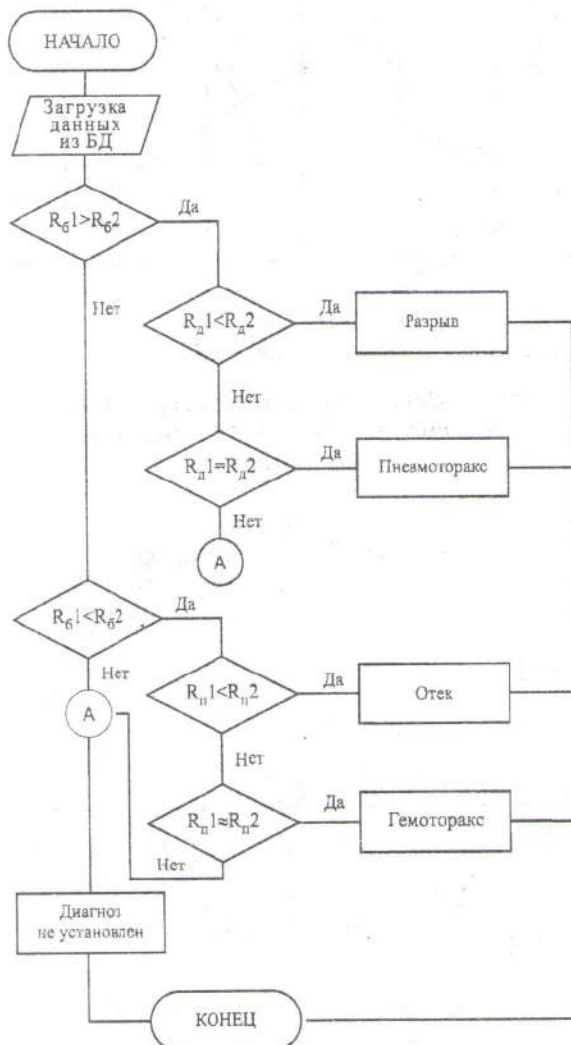


Рис. 9. Алгоритм классификации патологий

Для интерпретации результатов измерения путем сравнительного анализа пульсовых колебаний на фазах вдоха и выдоха, предлагаются следующие количественные показатели [17, 18]:

— коэффициент отношения амплитуд систол на вдохе ($A_{с\text{вд}}$) и выдохе ($A_{с\text{выд}}$)

$$A_c = \frac{A_{с\text{вд}}}{A_{с\text{выд}}};$$

— коэффициент степени близости

$$K_6 = \sqrt{\sum_{i=1}^N (A_{i\text{вд}} - A_{i\text{выд}})^2};$$

где $A_{i\text{вд}}$ и $A_{i\text{выд}}$ — амплитуды гармоник пульсовых колебаний на вдохе и выдохе, N — количество гармоник;

— коэффициент корреляции r

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N A_{i\text{вд}} A_{i\text{выд}} - \bar{A}_{\text{вд}} \bar{A}_{\text{выд}}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N A_{i\text{вд}}^2 - N \bar{A}_{\text{вд}}^2\right) \left(\sum_{i=1}^N A_{i\text{выд}}^2 - N \bar{A}_{\text{выд}}^2\right)}},$$

где $\bar{A}_{\text{вд}}$ — среднее значение амплитуды на вдохе,

$\bar{A}_{\text{выд}}$ — среднее значение амплитуды на выдохе;

— коэффициент отношения площадей под кривыми

$$K_s = \frac{S_{\text{вд}}}{S_{\text{выд}}},$$

где $S_{\text{вд}}$ и $S_{\text{выд}}$ — площади под пульсовыми кривыми на вдохе и выдохе;

— значение базового сопротивления R_6 и его переменная составляющая, обусловленная дыхательными процессами (для удобства графического представления данных введен коэффициент деления 100).

Результаты исследований при различных патологиях представлены в табл. 1.

Таблица 1

Пациент	Сегмент	Показатель					
		$R_6/100$	A_c	K_6	r	K_s	$R_6/2$
Пациент 1	левый	1,64	0,99	0,006	0,7	0,62	2,29
	правый	2,74	0,97	0,04	0,25	0,79	0,04
Пациент 2	левый	1,52	1,19	0,56	0,8	0,75	1,15
	правый	1,91	0,85	0,31	0,6	1,06	3,37
Пациент 3	левый	1,78	1,18	0,3	0,8	2,26	0,88
	правый	2,02	0,59	1,14	0,7	1,03	0,96
Пациент 4	левый	1,53	1,64	2,38	0,96	2,84	0,69
	правый	1,16	1,19	0,19	0,6	1,65	3,2
Пациент 5	левый	1,37	0,94	0,12	0,61	0,56	0,11
	правый	1,5	0,53	1,17	0,9	1,25	2,55
Пациент 6	левый	4,45	1,13	0,32	0,46	0,96	0,56
	правый	2,45	1,1	0,24	0,3	1,47	0,38
Пациент 7	левый	1,53	0,2	2,38	0,59	2,93	1,01
	правый	1,58	0,53	1,17	0,9	3,25	0,9

Для комплексной оценки сегмента легкого предлагается представление количественных показателей кровенаполнения (рис. 10, 11) и дыхания в многомерном пространстве признаков и вычисление центра масс полученной фигуры (рис. 12, 13). Для большей наглядности положение центра масс для данных в табл. 1 представлено в полярной системе координат (рис. 14).

В результате обработки экспериментальных данных было установлено, что форма фигуры и положение центра масс имеют характерные особен-

ности для каждого вида патологии, что позволило сформулировать новый критерий (радиус-вектор и угол расположения центра масс) для дифференциальной диагностики и определить его числовые границы (табл. 2).

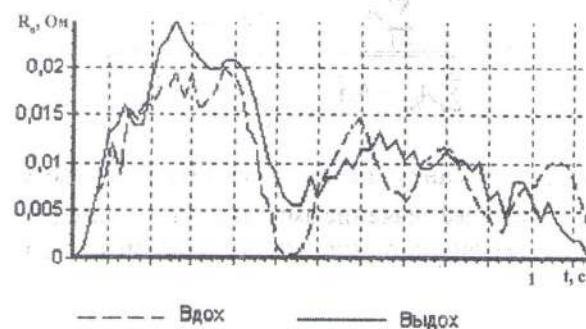


Рис. 10. Пульсовые колебания кровенаполнения (6-й пациент)

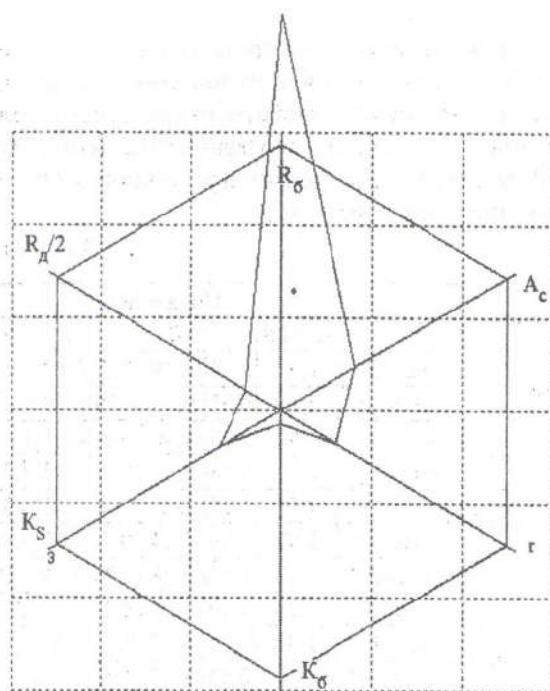


Рис. 11. Показатели вентиляции кровотока в многомерном пространстве признаков (6-й пациент)

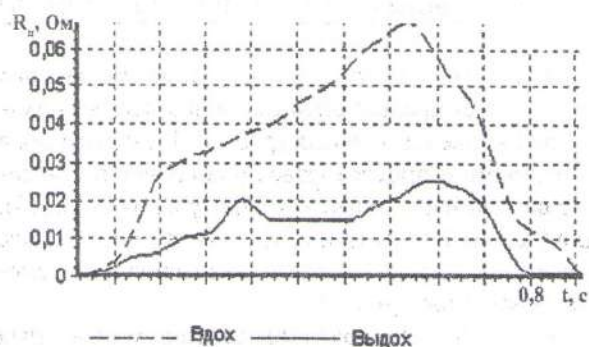


Рис. 12. Пульсовые колебания кровенаполнения (4-й пациент)

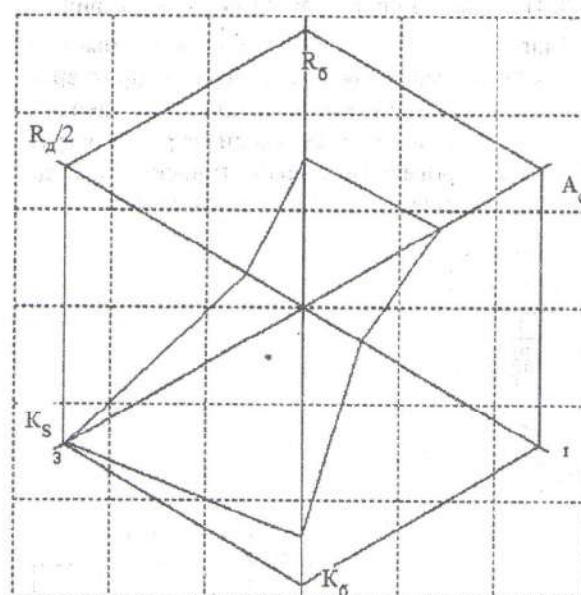


Рис. 13. Показатели вентиляции кровотока в многомерном пространстве признаков (4-й пациент)

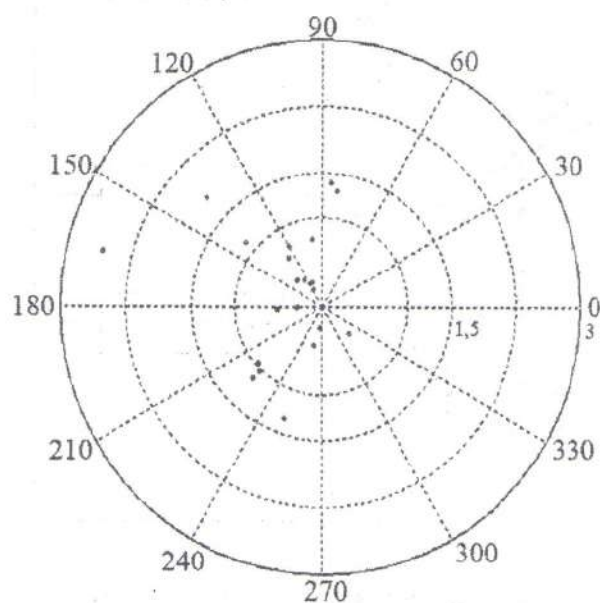


Рис. 14. Представление результатов диагностики в полярной системе координат

Таблица 2

Патология	Радиус-вектор	Угол, °
Пневмоторакс	$> 0,75$	60 – 120
Гемоторакс	$< 0,5$	210 – 330
Отек	$> 0,75$	180 – 240
Разрыв ткани легкого	$> 1,5$	120 – 180

Количественно подтверждена методика сегментарной реографии легких, а также интерпретация результатов исследования на вдохе и выдохе для диагностики масштаба и степени повреждения легочной и плевральной структур. Результаты иссле-

дований в 91% случаев совпадают с данными рентгенодиагностики.

Отмечено уменьшение величин показателей легочного кровотока в 1,5 и вентиляции до 2,5 раз у 20 пациентов (66% исследуемых). Снижение базового сопротивления более чем в 1,2 раза наблюдалось у 50 % пациентов. Количественные характеристики изменения формы кривых пульсовых колебаний, представленные в многомерном пространстве признаков, на вдохе и выдохе, а также соответствующих сегментов здорового и пораженного легкого значительно отличались у 46 % пациентов.

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований показано, что модель пористой среды, образованной из сферических частиц наиболее адекватно отображает процессы кровеносного и воздухоносного наполнения в легочном сегменте.

На основе модельных представлений определена связь между электрическим сопротивлением и физиологическими процессами в легких и плевральной полости.

Результаты численного моделирования подтверждают взаимосвязь электрических характеристик сегмента легкого с объемными показателями кровеносного и воздухоносного наполнения.

Достоверность модельных данных подтверждена экспериментальными исследованиями.

Предложена методика и критерии дифференциальной диагностики для посттравматических повреждений грудной клетки.

Список литературы: 1. Гаврилин С.В. Оптимизация компенсаторных процессов внешнего дыхания интенсивной терапией при тяжелой сочетающейся травме / Автореф. дис. д-ра мед. наук СПб., 1994. — 41 с. 2. Bulger EM, Jurkovich

GJ, Gentilello LM, Maier RV. Current clinical options for the treatment and management of acute respiratory distress syndrome // J. Trauma — 2000. V. 48. — №3. — P. 562–572. 3. Замятин П.Н., Голобородько Н.К., Бойко В.В., Шулика В.И. Лечение артериальной гипоксемии при политравме. — Харьков: Консум, 2004. — 124 с. 4. Грини М.А. Патолофизиология легких. — М.: Восточная книжная компания, 1997. — 344 с. 5. Соколов В.А., Рогоцкий Г.Т., Эскина Л.Ю. и др. Закрытая травма груди — М., Медицина, 1985. — 56 с. 6. Золотокрылина Е.С., Морозов Н.В. Значение нарушений перфузии тканей и диссеминированного внутрисосудистого свертывания крови в патогенезе посттравматической болезни у больных с массивной кровопотерей и тяжелой сочетанной травмой // Анестезиология и реаниматология. — 1995, № 4. — С. 24–29. 7. Физиология и патолофизиология легочных сосудов / Под ред. Е.К. Уэйра, Дж. Т. Ривса — М.: Медицина, 1995. — 672 с. 8. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Механика сплошных сред. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. — 757 с. 9. Иванов Л.В., Макаров В.А. Лекции по клинической реографии. — М.: АОЗТ «Антидор», 2000. — 320 с. 10. Дворецкий Д.П., Ткаченко Б.И. Гемодинамика в легких — М.: «Медицина», 1987. — 288 с. 11. Шейдеггер А.Э. Физика течения жидкостей через пористые среды. — М.: Гостоптехиздат, 1960. — 261 с. 12. Колинз Р. Течения жидкостей через пористые материалы. — М.: Мир, 1964. — 345 с. 13. Гринчик Н.Н. Процессы переноса в пористых средах, электролитах и мембранах. — Минск: Наука и техника, 1991. — 253 с. 14. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики — М., 1966. — 724 с. 15. Линник С.Н. Модель функционирования легких // Вестник Национального политехнического университета «ХПИ». — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2005. — № 46. — С. 118–125. 16. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. — М.: Энергия, 1972. — 476 с. 17. Линник С.Н., Мустецов Н.П., Величко О.Н., Дацок О.М. К вопросу интерпретации импедансометрических исследований легких // Прикладная радиоэлектроника. — Т. 4. — 2005, № 2. — С. 180–184. 18. Гельман В.Я. Медицинская информатика. — СПб.: Питер, 2002. — 468 с.

Поступила в редколлегию 12.10.2005

УДК 519.7

Н.А. Валенда, Г.Ф. Дюбко

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СЕМАНТИКИ

Введение

Обработка информации на естественном языке является одной из фундаментальных задач в области искусственного интеллекта. В настоящее время интерес к этому направлению вызван необходимостью обработки постоянно увеличивающихся объемов информации на естественном языке. Это обусловлено распространением электронного документооборота, развитием информационных сетей. Обработка информации на естественном языке производится в системах автоматического перевода, поисковых системах, интерфейсах к базам данных, экспертных системах. Результаты работы систем обработки информации характеризуются достаточно низким качеством из-за сложности естественного языка как объекта моделирования. Повышение качества систем обработки информации на естественном языке является одной из актуальных задач в области искусственного интеллекта [1].

Одним из основных подходов к улучшению качества обработки информации является привлечение семантики и знаний о предметной области. Большинство современных работ направлены на построение формальных моделей семантики, которые позволяют улучшить качество методов обработки информации. Целью данной работы является усовершенствование методов синтаксического и семантического анализа на основе модели семантики в виде семантических функций для повышения качества формального анализа языковых конструкций в системах искусственного интеллекта.

1. Анализ на основе атрибутивных транслирующих грамматик

Следуя идеям Хомского, возможна формализация семантики языка — правил вычисления смысла предложения, с помощью его синтаксиса — правил построения предложений, которые задаются продукциями порождающей грамматики этого языка [2]. Для анализа формальных языков используют контекстно-свободные грамматики (КС). Естественные языки имеют значительно более сложную структуру, их анализ возможен только с учетом контекста. Для этого КС-грамматика расширяется за счет введения атрибутов.

Атрибутивная грамматика — это расширение КС-грамматики, где каждому символу может быть приписано конечное число семантических параметров — атрибутов, которые принимают некоторые значения. Для каждого синтаксического правила определяются семантические правила,

т.е. функциональные зависимости одних семантических атрибутов, приписанных символам, входящим в эту продукцию, от других атрибутов символов, входящих в ту же самую продукцию. Непосредственное вычисление значений всех атрибутов для каждого предложения языка определяется по дереву вывода этого предложения.

Дерево вывода в КС-грамматике — это помеченное упорядоченное дерево, каждая вершина которого помечена символом из множества $V_T \cup V_N \cup \epsilon$. Если внутренняя вершина помечена символом S , а ее прямые потомки — символами $X_1, \dots, X_n$, то $S \rightarrow X_1, \dots, X_n$ — правило этой грамматики.

Атрибутивной транслирующей грамматикой называется

$$G = (V_T, V_N, V_S, P, S),$$

где V_T — алфавит терминальных символов; V_N — алфавит нетерминальных символов; V_S — множество семантических правил; S — аксиома; P — множество продукций вида $A \rightarrow \alpha$, где

$$\alpha \in (V_T \cup V_N \cup V_S)^*.$$

В данной работе используются два типа семантических правил. Первый тип правил — это присвоение и проверка морфологических атрибутов. Для терминальных и нетерминальных символов правой части правил грамматики производится проверка грамматической сочетаемости на основании сравнения морфологических атрибутов. Если согласование выполнено, то производится присвоение морфологических атрибутов нетерминальному символу левой части правила, что соответствует формированию родительского узла в дереве вывода. Второй тип правил — это применение семантических функций для проверки смысловой сочетаемости дочерних вершин данного узла [3]. Эти правила оформляются в виде функций, которые включают механизмы семантического анализа. Слова словосочетания рассматриваются как аргументы семантической функции. Осмысленность языковой конструкции задается существованием семантической функции на заданных аргументах, т.е. значения аргументов должны принадлежать области определения семантической функции.

В случае выполнения семантического согласования, для данного фрагмента текста формируется семантическая функция, которая задает его смысл. Далее данный фрагмент рассматривается как единое целое и наследует морфологические атрибуты

главного слова. При выполнении правил обоих типов формируется новый узел, обладающий морфологической информацией и семантическим значением.

В общем виде правило грамматики имеет вид:

$$A_{x_1, \dots, x_n} \rightarrow B_{y_1, \dots, y_m} C_{z_1, \dots, z_k} F_i(y_1, z_1), \\ x_1 = y_1, \dots, x_n = y_m.$$

где A, B, C — нетерминальные символы; $x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m, z_1, \dots, z_k$ — морфологические атрибуты; $F_i(y_1, z_1)$ — функция семантического согласования.

Содержательно символы из различных алфавитов имеют следующий смысл: символы терминального алфавита являются словами анализируемой языковой конструкции; нетерминальные символы — грамматические категории языка; семантические правила — проверка грамматической и семантической сочетаемости элементов языковой конструкции.

Терминальный символ имеет следующий вид:

$$X_{a_1, \dots, a_n},$$

где X — имя терминального символа; $a_1, \dots, a_n$ — атрибуты терминального символа.

В качестве имени терминального символа рассматривается часть речи: существительное — C ; прилагательное — $П$; причастие — $Пр$; числительное — $Чс$.

Атрибутами являются морфологические признаки, a_i всегда задает слово. Остальные атрибуты соответствуют признакам из комплекса морфологической информации. Для существительных: одушевленность, род, число, падеж. Для прилагательных: род, число, падеж, степень сравнения, краткость. Для причастий: род, число, падеж, краткость, вид, время, залог. Для числительных: род, число, падеж, тип.

Традиционно синтаксический анализ производится разбор текста по предложениям. Строится дерево разбора предложения на основе вывода в грамматике, которое передается на вход семантическому анализатору для дальнейшего анализа. В предложениях русского языка порядок слов не является строгим, что значительно усложняет задачу синтаксического анализа. Введение дополнительных правил делает грамматику громоздкой и малоэффективной. Если рассмотреть более мелкие единицы текста — словосочетания, то можно сделать вывод, что порядок слов в них является более строгим. Структура словосочетаний значительно проще структуры предложений. Для упрощения грамматики и последующего анализа предлагается сузить область применения синтаксического анализа с предложения до словосочетания. Это позволит реализовать анализ без возвратов.

Метод анализа на основе атрибутивных транслирующих грамматик основывается на реализации вывода языковых конструкций в атрибутивной грам-

матике. Анализатор строится на основе LR(1) — грамматики. На вход анализатора подаются простые предложения естественного языка. На выходе получаем предложение, разбитое на слова и словосочетания. В качестве анализируемых конструкций выступают словосочетания. Анализ осуществляется в несколько проходов. Каждый проход линейно зависит от объема входных данных, поэтому общая функция зависимости времени работы от объема входных данных имеет линейный характер.

В работе рассматриваются словосочетания, имеющие в качестве главного слова глагол или существительное. На примере словосочетаний с главным словом существительным (именных групп) рассмотрим работу метода анализа. Именная группа состоит из существительного и зависимых слов, в качестве которых могут выступать как существительные, так и прилагательные, причастия, порядковые числительные. Аргументами именной группы могут быть как отдельные слова, так и слова уже объединенные в именную группу. Из этого следует, что правила, допускающие именные группы, должны быть рекурсивными.

К рекурсивным правилам формирования именных групп относятся:

- сочетание существительного с прилагательным, причастием, числительным;
- сочетание существительного с существительным в родительном падеже.

К первой категории относятся словосочетания такого вида — «новые тонированные окна», ко второй — «портфель профессора информатики». Несмотря на различную структуру обоих словосочетаний мы имеем дело с правой рекурсией. Чтобы убедиться в этом, представим эти словосочетания в виде скобочных записей:

- (новые (тонированные окна);
- (портфель (профессора информатики)).

Для образования именных групп важен порядок применения правил. Сначала необходимо создать именные группы с прилагательными, причастиями и числительными. В дальнейшем они могут входить в состав именных групп родительного падежа. Поэтому, сначала строятся нетерминалы — $\langle \text{Именная группа}_1 \rangle$, а затем $\langle \text{Именная группа}_2 \rangle$. Нетерминалы $\langle \text{Именная группа}_1 \rangle$ рассматриваются как терминальные символы при втором проходе анализатора. Словосочетания заменяются главными словами, чтобы упростить анализ. Вся информация сохраняется и восстанавливается после допуска языковой конструкции.

Грамматика, распознающая словосочетания с главным словом существительным, приведена ниже.

$$1.1 \langle \text{Именная группа}_1 \rangle_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow$$

$$П_{p_1, \dots, p_6} \langle A \rangle_{p'_1, \dots, p'_5} F_1(p_1, p'_1)$$

$$r_1 \leftarrow p'_1, \dots, r_5 \leftarrow p'_5$$

$$1.2 \langle \text{Именная группа}_1 \rangle_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow$$

$$Pr_{p_1, \dots, p_8} < A >_{p'_1, \dots, p'_5} F_2(p_1, p'_1)$$

$$r_1 \leftarrow p'_1, \dots, r_5 \leftarrow p'_5$$

$$1.3 < \text{Именная группа}_1 >_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow$$

$$Чс_{p_1, \dots, p_5} < A >_{p'_1, \dots, p'_5} F_3(p_1, p'_1)$$

$$r_1 \leftarrow p'_1, \dots, r_5 \leftarrow p'_5$$

$$2.1 < A >_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow C_{p_1, \dots, p_5}$$

$$r_1 \leftarrow p_1, \dots, r_5 \leftarrow p_5$$

$$2.2 < A >_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow < \text{Именная группа}_1 >_{p'_1, \dots, p'_5}$$

$$r_1 \leftarrow p'_1, \dots, r_5 \leftarrow p'_5$$

$$3 < \text{Именная группа}_2 >_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow C_{p_1, \dots, p_5}$$

$$< \text{Именная группа}_p >_{p'_1, \dots, p'_5 = \text{rod}} F_4(p_1, p'_1)$$

$$r_1 \leftarrow p_1, \dots, r_5 \leftarrow p_5$$

$$4.1 < \text{Именная группа}_p >_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow \varepsilon$$

$$r_1 = 0, \dots, r_5 = 0$$

$$4.2 < \text{Именная группа}_p >_{r_1, \dots, r_5} \rightarrow C_{p_1, \dots, p_5 = \text{rod}}$$

$$< \text{Именная группа}_p >_{p'_1, \dots, p'_5} F_5(p_1, p'_1)$$

$$r_1 \leftarrow p_1, \dots, r_5 \leftarrow p_5$$

Приведем пример вывода в данной грамматике языковой конструкции: «портфель профессора информатики». Для каждого слова в результате морфологического анализа получим множество терминов V_T :

портфель — $C_{\text{нод, муж, ед, им}}$ $C_{\text{нод, муж, ед, вин}}$

профессора — $C_{\text{од, муж, ед, род}}$ $C_{\text{од, муж, ед, вин}}$

$C_{\text{од, муж, мн, им}}$

информатики — $C_{\text{нод, жен, ед, род}}$

В табл. 1 приведен вывод допустимой строки с использованием стека.

В результате вывода получаются две допустимые последовательности терминальных символов за счет того, что слово «портфель» может быть как в именительном, так и в родительном падеже. Эту неоднозначность невозможно снять на данном этапе даже на уровне семантики.

Вывод, приведенный выше, не рассматривает вычисление семантических функций, которые являются семантическими правилами в грамматике. Рассмотрены только правила для согласования грамматических атрибутов. Выполнение семантического согласования будет приведено в семантическом анализе.

2. Семантический анализ

Использование функционально семантического подхода основано на применении семантического словаря, содержащего значения слов, которые приписываются им в языке. Такую информацию можно получить из толкового словаря. Для формализации значений слов используется аппарат семантических функций [4]. В электронном словаре каждому слову соответствует отдельная запись, представляющая собой множество суперпозиций семантических функций. Каждая суперпозиция соответствует одному значению слова.

Вход	Стек	Атрибуты
$C_{\text{нод, муж, ед, им/вин}}$ $C_{\text{од, муж, ед, род}}$ $C_{\text{нод, жен, ед, род}}$		
$C_{\text{од, муж, ед, род}}$ $C_{\text{нод, жен, ед, род}}$	C_1	
$C_{\text{нод, жен, ед, род}}$	$C_1 C_2$	1. нод, муж, ед, им/вин. 2. од, муж, ед, род.
	$C_1 C_2 C_3$	1. нод, муж, ед, им/вин. 2. од, муж, ед, род. 3. нод, жен, ед, род.
	$C_1 C_2 C_3$ $< \text{ИГ}_p >_4$	1. нод, муж, ед, им/вин. 2. од, муж, ед, род. 3. нод, жен, ед, род. 4. 0, 0, 0, 0.
	$C_1 C_2 < \text{ИГ}_p >_3$	1. нод, муж, ед, им/вин. 2. од, муж, ед, род. 3. нод, жен, ед, род.
	$C_1 < \text{ИГ}_p >_2$	1. нод, муж, ед, им/вин. 2. од, муж, ед, род.
	$C_1 < \text{ИГ}_p >_1$	1. нод, муж, ед, им/вин. 2. од, муж, ед, род.
	$< \text{ИГ}_2 >_1$	1. нод, муж, ед, им/вин.
	допуск	

На этапе семантического анализа каждое слово должно получить однозначную интерпретацию на всех уровнях — морфологическом, синтаксическом, семантическом. Для каждого слова должно быть указано, в какой роли оно выступает в предложении — объекта, субъекта, действия и т.д., а для многозначных слов — в каком из своих значений используется в предложении.

На вход семантического анализа конструкции естественного языка подаются в виде фрагментов, которые были получены на этапе синтаксического анализа. Каждый фрагмент состоит из набора лексем. Лексемами могут являться как слова, так и словосочетания. На этапе синтаксического анализа все слова языковой конструкции должны быть сгруппированы вокруг существительных и предикативных частей речи, кроме того, могут встречаться различные смысловые связки, которые не будут включаться ни в одну группу. Каждый набор лексем должен содержать одно предикативное слово. В противном случае, этот фрагмент должен быть разобран как словосочетание еще на этапе синтаксического анализа. Задача семантического анализа

состоит в заполнении пустых позиций предиката словами и словосочетаниями данного фрагмента. Словосочетания, образованные в результате синтаксического анализа, прошли семантическое согласование и для них созданы семантические функции.

Анализ конструкций естественного языка предполагает, что на основе языкового представления в результате некоторой последовательности действий будет построено внутреннее представление на формальном языке, которое будет отображать значение исходной языковой конструкции. Записи семантического словаря представляют собой формализованное описание значения, которое является шаблоном, позволяющим включать в формулу зависимые слова. Каждая функция вырабатывает значение, которое таблично сопоставлено ей в словаре. На основе значения функции ее можно встраивать в незаполненные позиции другой функции, получая суперпозицию функций. На основании этих свойств построен метод семантического анализа, позволяющий устанавливать зависимости между лексическими единицами в предложении. Этот метод является развитием метода семантического анализа на основе фрейма предиката. В данной работе фрейм предиката задается суперпозицией семантических функций, соответствующих предикатному слову в словаре.

Семантический анализ состоит из двух частей:

- проверка семантики на уровне синтаксического анализа;
- формирование функции для языковой конструкции на основе предиката.

Проверка связи, установленной на уровне синтаксического анализа, производится при формировании словосочетаний. Вызов процедуры семантического анализа задается функцией $F_i(x_1, x_2)$, где x_1 — главное слово словосочетания, а x_2 — зависимое, i — определяет на основе функции главного или зависимого слова будет ли строиться функция словосочетания, а также стандартную функцию.

В терминологии грамматик можно сказать, что это анализ снизу вверх — на основании простых единиц строятся более сложные, пока не будет получено предложение. Простейшими составляющими являются слова. Для объединения слов в словосочетания используются семантические функции, соответствующие им в словаре. Основой метода формирования простых словосочетаний является заполнение пустых позиций в суперпозициях семантических функций. На основании простых словосочетаний формируются сложные словосочетания. Основой для формирования словосочетаний является синтаксический анализ, что позволяет не делать полный перебор всех возможных сочетаний слов. Если в предложении есть предикативная часть речи, то полученные словосочетания и слова, которые не вошли в словосочетания, встраиваются в функцию предиката.

Метод анализа состоит из трех частей:

- формирование простых словосочетаний;
- формирование сложных словосочетаний;
- заполнение функции предиката.

Две первые задачи решаются на этапе синтаксического анализа, третья — на этапе семантического анализа.

Формирование простого словосочетания.

1. На основании синтаксического анализа определяется главное и зависимое слово словосочетания — x_1, x_2 . Из семантического словаря извлекаем функции, соответствующие главному и зависимому словам $f_i^{x_1}(x_1^1, \dots, x_j^k) = \alpha_1$, $f_j^{x_2}(x_k^1, \dots, x_l^n) = \beta_1$. Функция словосочетания строится на основе функции зависимого слова для словосочетаний существительное-прилагательное и на основе функции главного слова для словосочетаний существительное-существительное. В первом случае функцией словосочетания будет являться $f_j^{x_2}$, а во втором — $f_i^{x_1}$. Для заполнения переменных будет использоваться значение противоположной функции.

2. Если аргумент функции словосочетания x_m^k является переменной — $X_{[P_{\text{мор}}, P_{\text{сем}}]}$, подставляем вместо него значение γ равное α_1 или β_1 . Для $P_{\text{сем}}$ и γ определяется близость выражаемых понятий: они должны либо совпадать как словарные константы, либо в иерархии значений $P_{\text{сем}}$ должно быть более общим понятием, чем γ . Если $P_{\text{сем}}$ и γ удалось сопоставить, то осуществляется подстановка $X_{[P_{\text{мор}}, P_{\text{сем}}]}/V(x_1)$ или $X_{[P_{\text{мор}}, P_{\text{сем}}]}/V(x_2)$ и выдается функция словосочетания, которая является суперпозицией функций главного и зависимого слова.

3. Если никакой аргумент x_m^k функции словосочетания не является переменной, то формируется стандартная функция на основе синтаксической связи. Ее проверка осуществляется на основании унификации значений входящих в нее слов. Их значения должны пересекаться. Если пересечения нет, то словосочетание не создается.

Формирование сложного словосочетания.

1. В качестве составных частей выступают простые словосочетания и слова. Для анализа используются главные слова простых словосочетаний. На основании синтаксического анализа определяется главное и зависимое слово словосочетания по тому же принципу, что и для простых словосочетаний. Выделяется функция словосочетания $f_j^{x_i}$. Зполнитель γ формируется на основании значения главного слова словосочетания или значения одинарного слова.

2. Если аргументом функция $f_j^{x_i}$ является переменная $X_{[P_{\text{мор}}, P_{\text{сем}}]}$, подставляем вместо нее γ . Если $P_{\text{сем}}$ и γ удалось сопоставить, то осуществляется подстановка. Если x_γ является главным словом словосочетания, то подстановка имеет вид $X_{[P_{\text{мор}}, P_{\text{сем}}]}/f_j^{x_i}$, если x_γ — одинарное слово, то $X_{[P_{\text{мор}}, P_{\text{сем}}]}/V(x_\gamma)$.

3. Если функция зависимого слова не содержит переменных, то формируется стандартная функция на основе синтаксической связи. Ее проверка осуществляется на основании унификации значений входящих в нее слов. Если пересечения нет, то словосочетание не создается.

Формирование языковой конструкции на основе заполнения позиций предиката.

1. Из словаря берется функция, соответствующая предикативному слову, создается список переменных $\{X_{1[P_{morf}, P_{sem}]}, \dots, X_{n[P_{morf}, P_{sem}]}\}$.

2. Среди главных слов, сформированных словосочетаний, и одинарных слов ищутся те, что удовлетворяют P_{morf} , P_{sem} , переменных X_i .

3. Если существует несколько вариантов для заполнения X_i , то на основании методов снятия многозначности выбирается один из вариантов.

4. Если все слова языковой конструкции не могут быть включены в одну формулу, являющуюся суперпозицией функций, то данный отрезок текста семантически не связан. Если для предиката существует несколько значений, то переходим к следующей формуле.

5. Если все переменные предиката

$$\{X_{1[P_{morf}, P_{sem}]}, \dots, X_{n[P_{morf}, P_{sem}]}\}$$

заполнены или использованы все заполнители, то возвращается текущая функция предиката — предложение разобрано.

На основе этих методов разработан алгоритм семантической проверки синтаксической связи. Результатом работы семантической проверки может быть:

— формирование функции словосочетания, объединение лексем исходных слов в лексему словосочетания;

— лексемы исходных слов остаются без изменений, словосочетание не формируется.

Рассмотрим семантическое согласование на уровне синтаксического анализа на примере языковой конструкции «портфель профессора информатики». При анализе словосочетания функция смыслового согласования вызывается дважды. В первый раз при формировании нетерминального символа $\langle ИГ_p \rangle_3$ вызывается F_3 (профессора, информатики).

Из словаря извлекаются семантические функции.

V_1 (профессор) = f_3 (профессор, Y) = преподаватель;

Y — учебное заведение / научное заведение / учебное подразделение / наука.

V_2 (профессор) = f_3 (профессор, Y) = ученое звание;

Y — фамилия.

V_1 (информатика) = наука.

V_2 (информатика) = дисциплина.

Для переменной Y формируется множество заполнителей:

$$M_{Y_i} = \{V_1 \text{ (информатика)}, V_2 \text{ (информатика)}\}.$$

Производится сопоставление семантических признаков переменной Y с множеством заполнителей.

P_{semY} = учебное заведение / научное заведение / учебное подразделение / наука;

$$V_1 \text{ (информатика)} = \text{наука};$$

$$P_{semY} = V_1 \text{ (информатика)}.$$

Подстановка:

$$Y / V_1 \text{ (информатика)}.$$

Функция словосочетания:

$$f_3 (V_1 \text{ (профессор)}, V_1 \text{ (информатика)}).$$

При формировании нетерминального символа $\langle ИГ_p \rangle_2$, который задает все словосочетание в целом, происходит аналогичный процесс. В результате, получаем семантическое представление всего словосочетания:

$$f_3 (V \text{ (портфель)}, f_3 (V_1 \text{ (профессор)}, V_1 \text{ (информатика)})).$$

Слово портфель имеет единственное значение, поэтому для его функции не указывается индекс значения. Данное формальное представление является результатом работы семантического анализатора. В нем каждое слово представлено единственным значением, которое задается индексом функции V. Связи между словами задаются функциями f_3 . Семантический анализ на основе предиката не требуется.

Выводы

В данной работе получили дальнейшее развитие методы анализа на основе атрибутивных транслирующих грамматик, благодаря введению семантических функций в виде символов действия, что позволило проверять существование семантического значения для словосочетаний, установленных на уровне синтаксиса. Усовершенствован метод анализа на основе фрейма предиката, благодаря использованию логического вывода на семантических функциях, что позволяет сопоставлять многозначным словам единственное значение.

Список литературы: 1. Широков В.А. Феноменология лексикографических систем. К.: Наукова думка, 2004. — 327 с. 2. Карпов Ю.Г. Основы построения трансляторов. СПб.: БВХ-Петербург, 2005. — 272 с. 3. Валенда Н.А., Дюбко Г.Ф. Принципы реализации анализа естественного языка // Проблемы бионики. № 50. 1999. — С. 45–53. 4. Валенда Н.А. Модель функционально семантической обработки текстов на основе унификации // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. № 4/2(16). 2005. — С. 95–99.

Поступила в редколлегию 23.11.2005

УДК 020.23.25

Е.В. Тимофеева, А.Ю. Шевченко

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ WEB-ОНТОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

1. Введение

В течение последних нескольких лет необычайное влияние интернет-технологий на все сферы применения вычислительной техники породило новую тенденцию, заключающуюся в том, что традиционные методы представления информации отошли на второй план по сравнению с методами представления информации в форме, удобной для ее использования в среде Интернет.

Целью данной статьи является формирование базовых принципов построения онтобазируемых приложений для образовательного процесса.

При этом задачей статьи является исследование возможностей использования технологии OWL для построения онтобазируемых приложений, решающих задачи образовательного процесса.

В ходе развития образовательной системы и перехода к Болонской конвенции, данное направление заняло приоритетные позиции. На текущих этапах развития нашего государства наблюдается стремительная интеграция в Европейский Союз, что влечет значительные изменения в таких аспектах, как образовательная система государства. Следствием этого будут все новые и новые изменения в документообороте с целью преобразования в европейский стандарт. Чтобы успешно справиться с задачей подведения документооборота под новые стандарты и требования следует прибегнуть к онтобазируемому подходу, который предоставит возможность создания базовой онтологии. Применение онтонаправленных систем обеспечит качественно новый уровень поиска и интеграции информационных источников, сделает возможным создание интеллектуальных систем, способных формировать новые знания и данные.

В последнее время достаточно активно развивается технология Интранет, основная идея которой — построение информационной системы организации на базе web-протоколов и, таким образом, включение этой системы в Интернет. Все разработчики коммерческих СУБД уже включили и активно развивают поддержку импорта и экспорта данных с использованием технологии XML. Более того, достаточно обоснованно и аргументированно обсуждается использование XML, как основного формата хранения данных. Если будет сделан соответствующий выбор в пользу XML, то это приведет к очень серьезным изменениям.

Соответственно это новое веяние затронуло и сферу технологий искусственного интеллекта. Раз-

витие технологии RDF на базе XML, позволило значительно упростить взаимодействие интересов специалистов и объединить специфические формы и форматы представлений объектов и процессов в таких предметных областях как представление знаний, обработка естественно-языковой информации, принятие решений, экспертные системы и др. на базе форматов интернет-технологий. Как видно на практике, взаимодействие интернет-технологий практически с любой научной областью значительно ускоряет темпы ее развития, что подтверждается, в частности, очевидным в данный момент интересом к проблеме представления знаний. Одной из самых последних разработок в этой области, основанной на направлении Semantic Web, поддерживаемом www-консорциумом, является язык web-онтологий OWL.

По причине того, что знания являются неотъемлемой частью любого образовательного процесса, возникает достаточно закономерный и естественный вопрос о том, как можно наилучшим образом использовать результаты этих исследований в интернет-технологиях обучения, когда предполагается весьма косвенное взаимодействие учителя и обучаемого вследствие множества форм общения, предоставляемого интернет-технологиями. В связи с этим приводится краткий обзор языка OWL и затрагивается вопрос о возможностях его использования для информационной поддержки образовательного процесса в ближайшем будущем.

Таким образом, актуальность данной задачи определяется тем, что в настоящее время существует необходимость перехода от систем со статистической обработкой информации к системам с возможностью семантического анализа.

2. Технологии языка web-онтологий (OWL)

В рамках курса философии известно, что термин «онтология» используется для обозначения системы знаний, которые относятся к окружающему нас миру. Иначе говоря, онтология — это наука о бытии, наука о природе вещей и взаимосвязях между ними. Если же рассматривать термин «онтология» в рамках информационных технологий представления знаний, то данным термином можно определить определенный механизм, способ, который используется для описания некоторой области знаний или же предметной области. В приложениях к web-технологиям, можно отметить, что основной целью онтологий является представле-

ние (отображение) смысла понятий, используемых в конструкциях RDF. Соответствующим образом, RDF — это язык общения программных систем, работающих в среде Интернет, а онтологии, таким образом, составляют его словарь-тезаурус. Для достижения этой цели язык web-онтологий должен решить задачи следующего характера:

- во-первых, предоставить такой синтаксис описания понятий, который был бы достаточно удобен всем участникам взаимодействия в сети Интернет с учетом программных систем и человеческого фактора;

- во-вторых, сделать как можно более выразительными методы описания рассматриваемых понятий и связей между ними;

- в-третьих, обеспечить механизмы предполагаемого эволюционирования описаний и совместного использования онтологий в среде Интернет.

Теперь, наиболее уместным будет рассмотрение того, как решается каждая из этих трех задач в рамках языка OWL.

Учитывая то, что язык OWL является составной частью системы технологий Semantic Web, он, так же как и RDF, использует в качестве своего синтаксиса язык XML. Это позволяет решить первую задачу, т. к. теговые конструкции, которые активно и достаточно эффективно используются в высокоуровневых web-протоколах (языках HTML, XML), являются определенным образом оптимальными соглашениями в настоящее время для форм представления информации, которые ориентируются одновременно и на программные системы, и на человека. Использование стандартного для Интернет синтаксиса позволяет использовать уже существующие xml-анализаторы для синтаксического разбора web-онтологий и сконцентрировать внимание, тем самым, на анализе их семантической структуры. Учитывая тот факт, что синтаксис языка OWL является довольно стандартным по своей структуре, а также с учетом его ориентированности на web, он может уравнивать недостатки web-онтологий и явиться решающим при его выборе в качестве механизма представления знаний конкретной предметной области. Тем более, что современная наука и образование, так же как и другие сферы человеческой деятельности, подвергаются влиянию всеобщих значительных глобальных изменений. Стандарт www-консорциума на язык XML уже переведен на русский язык и доступен для ознакомления [1].

Решение второй поставленной нами задачи непосредственно связано с методами и средствами представления знаний. На данный момент существует несколько подходов к описанию объектов и явлений окружающего мира. Соответственно, появилось и достаточно большее количество языков представления знаний, реализующих эти подходы.

В языке web-онтологий используется в несколько упрощенном виде один из наиболее популярных сегодня и понятных на интуитивном уровне подходов — объектно-ориентированный метод описания окружающего мира. Основные идеи языка OWL — это его свойства, классы, объекты и ограничения, которые реализуют представление о мире, как о множестве объектов, которые характеризуются некоторым определенным набором свойств. Эти объекты состоят между собой в определенных отношениях и объединяются по определенным признакам (характерным свойствам и ограничениям) в группы (классы).

Таким образом, при создании онтологии мы начинаем с описания иерархий классов понятий, составляющих данную предметную область. Представлен небольшой фрагмент такого описания для онтологии «Высшие учебные заведения»:

```
<owl:Class rdf:ID=«Высшее Учебное Заведение»/>
<owl:Class rdf:ID=«Университет»>
<rdfs:subClassOf rdf:resource=«# Высшее Учебное
Заведение»/>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID=«Харьковский Университет
Радиоэлектроники»>
<rdfs:subClassOf rdf:resource=«# Университет»/>
</owl:Class>
```

Для того, чтобы понятия предметной области несли определенную смысловую нагрузку, они должны характеризоваться конкретными наборами свойств и состоять в определенных связях друг с другом. Эту задачу в языке OWL решают механизмы свойств и ограничений, которые с ними ассоциируются. Свойства, в свою очередь, делятся на два вида: свойства-характеристики и свойства-связи. Первые характеризуют объекты (классы) и принимают в качестве своих значений данные определенных типов. Вторые связывают объекты (классы) друг с другом и соответственно принимают в качестве своих значений объекты (классы). На свойства накладываются ограничения двух типов: локальные и глобальные. К глобальным ограничениям относятся домены (классы, объекты которых могут обладать этими свойствами) и диапазоны (классы, объекты которых могут выступать в качестве значений этих свойств). Локальные ограничения накладываются на свойства в рамках определенного рассматриваемого в конкретном случае класса и могут еще больше сужать диапазоны для свойств в рамках этого класса, определять мощность свойств и их виды.

После того, как мы описали все классы, свойства, ограничения и объекты предметной области, мы получаем сложную систему иерархий, являющуюся своего рода базой для построения программ-

ных систем, которые обладают способностью осуществлять операции определенного интеллектуального уровня над информацией, содержащейся в онтологии. К таким операциям можно отнести, например, семантический поиск или определение целостности и достоверности информации на основе ограничений, которые закладываются в онтологию.

Если рассматривать язык OWL с точки зрения полноты выразительных возможностей, то можно отметить, что он не в состоянии конкурировать со многими существующими языками представления знаний уже хотя бы по той причине, что в текущей версии не рассчитан на описание стремительно изменяющихся явлений, учитывая то, что его основа — это объекты и связи. В то же время, тот факт, что этот язык является, в свою очередь, элементом стека веб-протоколов, т. е. является актуальным в рамках развития информационных технологий, позволяет рассчитывать, что в ближайшее время ограничения на его выразительные возможности будут сняты.

Однако есть одна задача веб-онтологий, связанная с поддержкой их развития и совместного использования, которая решается при помощи введения специальных механизмов в язык OWL. К ним, в частности, относятся механизмы описания версий онтологий и механизмы обработки данных, содержащихся в онтологиях. Первые позволяют описать ссылки на предыдущие версии онтологий и изменения, сделанные в данной версии по отношению к предыдущей. Это позволяет отслеживать и, таким образом, фиксировать эволюцию онтологий, а также работать с онтологиями разных авторов для одной и той же предметной области. Механизмы агрегирования данных решают задачи объединения различных онтологий, размещенных в сети Интернет, в частности, задачи ссылок из одной онтологии на классы и объекты другой онтологии. Все это позволяет выстраивать онтологии в единую базу знаний, в которую в ближайшем будущем и должен превратиться Интернет. В этом случае, программные системы будут способны разбираться и сориентироваться в глобальной сети и осуществлять различные интеллектуальные операции над размещенной в ней информацией.

Таким является наше краткое, но достаточно обзорное изложение языка описания веб-онтологий OWL. Наш обзор ставил своей целью скорее заинтересовать новой технологией и описать ее возможности в рамках ближайшего ее развития. Соответственно, для дальнейшего ознакомления есть возможность обратиться к материалам, размещенным на сайте www-консорциума, где можно найти достаточно большой объем информации относительно рассмотренной технологии.

Производя оценку достоинств и недостатков языка OWL, следует еще раз отметить тот факт, что этот язык является развитием технологий XML и RDF и входит в разрабатываемый сегодня новый стек веб-протоколов. Наряду с замечательными возможностями по совместному использованию OWL-онтологий, этот факт, на наш взгляд, может стать решающим при выборе языка OWL в качестве механизма построения базы знаний или экспертной системы. Это преимущество позволяет не акцентировать внимание на невысокие пока выразительные возможности этого языка, особенно, учитывая скорости появления новых версий программных интернет-приложений. Следует также отметить, что в отличие от многих языков представления знаний, язык OWL не является языком, представляющим, в основном, теоретический интерес и мало пригодным для решения практических задач. В его развитие вкладываются немалые средства, для его поддержки создается множество программных инструментов и систем. И уже сегодня есть примеры его практического использования. Поэтому стоит всерьез рассмотреть перспективы и возможности построения базы знаний своей дисциплины, курса, науки, потому как инструмент для этого уже существует. И использовать как представленную в базе информацию, так и ее структуру как инструменты технологий обучения. О том, как можно использовать подобную базу знаний представляется нижеизложенная информация.

3. Возможности использования языка web-онтологий в рамках образовательного процесса

На данный момент существует множество определений понятия база знаний, но следует, остановиться на следующем, удовлетворяющем нас, определении: база знаний — это база данных плюс мета-данные. Под мета-данными в данном конкретном случае понимаются правила синтаксической и семантической обработки данных. Таким образом, база знаний является как источником информации, так и, весомой базой для построения программных систем, включая программных агентов, способных обрабатывать эту информацию. Исходя именно из этого, и нужно искать направления использования базы знаний в конкретной предметной области (в нашем случае — в технологиях обучения). Известно, что в рамках многих учебных процессов на определенном уровне существуют проблемы несогласованности дисциплин. Так, при системном изучении компьютерных технологий система курсов делится на аппаратный цикл, цикл операционных систем и системного программного обеспечения, цикл прикладного программного обеспечения, цикл вычислительных сетей. На сегодняшний день, пожалуй, наиболее отработанным,

с точки зрения своей структуры, является аппаратный цикл. Остальные же циклы имеют чрезвычайно сложную и запутанную структуру. Особенно это касается цикла прикладного программного обеспечения и вычислительных сетей с учетом появления постоянно совершенствующихся новых технологий. Между тем, все эти дисциплины, курсы и циклы связаны множеством прямых и обратных связей, и должны составлять единую, понятную, хорошо структурированную систему. Понимание этой системы — необходимое условие для современного специалиста в области информационных технологий. В этой связи возникает вопрос — почему бы не попробовать создать некую базу знаний, которая станет закрепляющим средством, механизмом, объединяющим огромное количество существующей информации в единую систему, основой для ориентирования в области компьютерных технологий. Конечно, построить такую сложную систему одному человеку или одной кафедре вряд ли удастся. Однако механизмы языка OWL позволяют строить базу знаний, начиная со своей дисциплины, со своего цикла. Подобная база знаний может стать для преподавателей — прежде всего, ориентиром при построении новых и развитии старых курсов, а для студентов — принципиально новым, с точки зрения своих возможностей, источником информации. В далекой перспективе, возможно, будут построены программные агенты, которые смогут автоматически пополнять подобную базу знаний информацией, вновь появляющейся в Интернет, таким образом, автоматически поддерживая ее актуальность. Таково, на наш взгляд, основное направления использования языка OWL в учебном процессе. Второе направление использования языка OWL связано с построением программных систем, которые оперируют знаниями, содержащимися в онтологиях. При наличии базы знаний дисциплины или курса, мы уже сегодня можем строить тестирующие программные системы, которые по своим возможностям, очевидно, превзойдут существующие на сегодняшний день тесты, ориентированные на выбор одного из нескольких вариантов. Новые тестирующие агенты будут способны сами сформулировать вопрос и оценить ответ на него с точки зрения ограничений, описанных в онтологии. Эти агенты могут быть, очевидно, использованы так же и для тренировки умений и навыков, и, в свою очередь, для учебного моделирования. Эти два направления использования web-онтологий в учебном процессе, на наш взгляд, являются сегодня наиболее очевидными, но ими не ограничивается список возможностей онтологий. Как инструмент для описания знаний, онтологии должны заинтересовать всех специалистов, сталкивающихся в своей практике с проблемой представления и использования знаний. К этим специалистам, вне всякого сомнения, относятся и преподаватели.

4. Язык OWL в рамках семантической сети

Сегодня на первом плане разработок в сфере Internet-стандартов находится Семантическая Сеть (Semantic Web, согласно терминологии W3C), архитектура которой предполагает наличие у любой информации, находящейся в сети, связанный с этой информацией точный смысл, который нельзя было бы перепутать даже в случае совпадения фраз или слов, встречаемых в разных контекстах. Фактически это означает, что любая информация связана с некоторым неотделимым от нее контекстом. Семантическая Сеть активно использует язык XML для определения собственной структуры документов и язык RDF (Resource Definition Framework), предоставляющий удобную среду формализации метаданных и сведений о контексте. RDF создан консорциумом W3C и предназначен для описания метаданных, является подмножеством языка XML и имеет собственный язык RDF Schema для описания структуры документов. Однако RDF — это самый низкоуровневый из существующих языков описания метаданных, поскольку оперирует лишь понятиями связей примитивных сущностей. Со временем разработчикам Семантической Сети стало очевидно, что средств XML и RDF для представления информации и метаданных для построения полноценной семантически связанной сети недостаточно. RDF подобен ассемблеру, если сравнивать семантическую нагрузку отдельных конструкций языка, и слишком сложен для решения задачи подобного масштаба. Чистый XML, в свою очередь, являясь метаязыком, включает в себя RDF как подмножество, и не создан для какого-либо конкретного применения, а потому для построения семантической сети его также недостаточно. Поэтому консорциумом W3C и был создан язык онтологий OWL (Web Ontology Language) [5].

Онтология определяет термины, с помощью которых можно описать предметную область. Использование онтологий особенно необходимо в приложениях-агентах, осуществляющих поиск и объединение информации из различных источников и из разных сред, в которых один и тот же термин может означать разные вещи. Несмотря на то, что DTD (Document Type Definition, формальное описание структуры XML-документов) в стандарте XML и схем XML (XML Schema) вполне достаточно для обмена данными между сторонами, которые заранее договорились о значении определений и терминов, отсутствие семантики в указанных средствах описания структуры серьезно ограничивает надежность выполнения задачи поиска и объединения данных при использовании новых XML-словарей. Например, элемент <Rate>, встретившийся индексатору в разных документах, может означать либо курс валюты, либо оценку за экзамен, либо цену товара, или что-нибудь еще. И без точной

информации о том, что именно в конкретном документе имеется в виду под этим элементом, поисковый агент не сможет со стопроцентной вероятностью вернуть именно то, что и требовалось пользователю.

Практически любой пользователь Сети хотя бы раз сталкивался с ситуацией, когда при поиске интересующей его информации он помимо прочего получал от поисковой машины множество бесполезных ссылок. Поскольку поиск информации осуществляется вне контекста, никакие уточнения запросов не смогут надежно найти именно то, что нужно. Для качественного осуществления поиска пользователю необходимо понимать все тонкости предметной области, включая ее лексику, термины, определения, иерархии сущностей — одним словом, досконально знать онтологию. Хорошо, если пользователь является экспертом предметной области, хотя даже в этом случае будет найдена лишняя информация. Для обычного пользователя язык OWL призван упростить процесс поиска, возложив необходимость знания предметной области и описание контекста поиска полностью на авторов документа и систему поиска, причем передача этих функций авторам документа должна быть незаметна для пользователя.

5. Заключение

В статье описаны принципы построения онтологии образовательного процесса на языке OWL, а также предложены методы построения онтобазируемых систем для образовательного процесса.

Новизной, фактически, является применение новых семантических методов для обработки разнородной слабоструктурированной информации, относящейся к образовательному процессу.

Новая технология предоставляет такие возможности для обработки, описания и менеджмента информационных ресурсов. При использовании этой технологии одним из главных и необходимых компонентов является единая общая онтология пред-

метной области, в данном случае — образовательного процесса.

Благодаря применению онтобазируемых систем появляется возможность семантической обработки информации. Этот подход позволяет легко интегрировать информацию и формировать на основе разработанных онтологий общую информационно-онтологическую базу. Это позволит создать распределенные интеллектуальные приложения для поддержки систем, работающих в различных областях, в том числе и в образовательном процессе.

В данный момент имеет место заметный переход к интеллектуальным системам поиска, обработки и анализа информации, основным механизмом которого является онтобазируемый подход. Применение онтонаправленных систем обеспечит качественно новый уровень поиска и интеграции информационных источников, сделает возможным создание интеллектуальных систем, способных формировать новые знания и данные.

Таким образом, в рамках данной технологии, появилась возможность поиска, анализа и обработки информации, связанной с организацией учебного процесса на профилирующей кафедре, которая отображает иерархию заданных сущностей и связей между ними в машинопонятном, структурно стандартизированном виде.

Список литературы: 1. [Тим Брэй и др., 2000] Тим Брэй, Джин Паоли, С.М. Сперберг-Макквин, Ив Мэйлер. 2. Расширяемый язык разметки (XML) 1.0 (вторая редакция). Перевод Радика Усманова. // <http://www.citforum.ru/internet/xmlspec/index.shtml>. [Michael K. Smith et al., 2003] Michael K. Smith, Chris Welty, Deborah McGuinness. 3. OWL Web Ontology Language Guide // <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>. 4. Semantic Web Activity. <http://www.w3.org/2001/sw>. 5. OWL Web Ontology Language 1.0 Reference. W3C Working Draft <http://www.w3.org/tr/owlref/default.htm>. 6. Проект: «Protégé 2000» <http://protege.stanford.edu>. 7. Д. Люгер. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 864 с.

Поступила в редколлегию 16.11.2005

МОДЕЛИ ЯЗЫКА — СКЛОНЕНИЕ ПРИТЯЖАТЕЛЬНЫХ ИМЕН ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ

Введение

Совершенствование развития машинной обработки естественно-языковой информации является одной из важнейших задач компьютеризации и информатизации [1]. Попытки решить проблему полноценной обработки информации, представленной на естественном языке, путем составления специально предназначенных для этого компьютерных программ, наталкиваются на значительные трудности. Эти попытки предпринимались на протяжении более 50 лет, объемы выполняемых работ катастрофически растут, а до полноценной обработки информации еще очень далеко. Это наглядно видно на качестве современного машинного перевода, распознавания рукописного текста и звучащей речи. По-прежнему крайне ограничены возможности общения человека с компьютером на естественном языке [2].

Решение этих задач существенно сдерживается недостаточной глубиной формального описания механизмов языка. Компьютер — это математическая машина, в нем не удастся привести в действие неформализованные знания о языке, которыми располагает лингвистика [3]. Если из анализа языка удастся извлечь более доскональный алгебраический язык, это значительно увеличит возможности разработчиков информационных систем, новых информационных технологий [4]. В 80-х годах был создан такой математический аппарат, он получил название алгебры предикатов. С помощью данного аппарата был математически описан такой аспект языка как склонение полных притяжательных имен прилагательных. В данной работе представлена математическая модель склонения притяжательных имен прилагательных. *Цель работы* — продемонстрировать алгебрологический подход к формализации естественного языка на примере притяжательных имен прилагательных русского языка и основанный на нем принцип параллельной обработки естественно-языковой информации. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) исследовать лингвистический материал и существующие аналоги обработки естественно-языковой информации; 2) задать отношения, описывающие механизм склонения притяжательных имен прилагательных (в виде уравнений алгебры предикатов) и при необходимости произвести бинарную декомпозицию данных отношений; 3) построить предикат модели, описывающий структуру склонения притяжательных имен прилагательных, производя конъюнкцию

полученных бинарных отношений; 4) построить схему логической сети для данной модели.

1. Склонение притяжательных имен прилагательных

Процесс склонения имен в грамматике [5], [6] представлен в табл. 1, называемой *парадигматической*.

Таблица 1

Парадигматическая таблица

Падѣж	Число			Множественное
	Единственное			
	Род			
	Мужской	Женский	Средний	
Именительный	сестрин	сестрина	сестрино	сестрины
Родительный	сестриног сестрина	сестриной	сестриног сестрина	сестриных
Дательный	сестриному сестрину		сестриному сестрину	
Винительный	сестрин	сестрину	сестрино	сестрины
	сестриног			сестриных
	сестрина			
Творительный	сестриным	сестриной сестриноу	сестриным	сестриными
Предложный	сестрином	сестриной	сестрином	сестриных

Таблица составлена для конкретного слова. В нашем случае это притяжательное прилагательное — *сестрин*. В процессе построения предложения человеку приходится подбирать нужные формы для всех входящих в него слов, обращаясь при этом к их склонению. Словоформа каждого слова всегда выбирается единственным образом. Она однозначно характеризуется своим окончанием. Окончание определяется двумя факторами: *самим словом* (представленным словарной формой слова [3] или его основой) и *текстом*, в который вставляется слово (*контекстом*). Определим систему признаков, значения которых однозначно определяют выбор нужной словоформы.

Уже было отмечено, что на выбор окончания влияет контекст. Однако контекстов неограниченное количество, все перебрать и зафиксировать невозможно. Но типов влияний контекстов на окончание словоформы может быть ограниченное количество. Оказывается, что это именно так. Такую задачу решили лингвисты, составив таблицу склонения слова. Для притяжательного имени прилагательного такая таблица приведена выше. Каждая ячейка таблицы характеризует один из типов влияний контекста, в том числе и половинные ячей-

ки. Языкознание выделяет пять признаков влияния контекста. Это *род, число, падеж* — три глобальных признака и два локальных признака: *признак одушевленности* и *признак архаичности* словоформы. Признак одушевленности актуален для притяжательных имен прилагательных в единственном числе мужского рода и множественном числе винительного падежа. Признак архаичности актуален для прилагательных в единственном числе мужского и среднего рода в родительном и дательном падежах, для одушевленного имени прилагательного мужского рода в винительном падеже, а также для прилагательных в единственном числе женского рода в творительном падеже.

Рассмотрим, как влияет на выбор окончания имени прилагательного такой фактор, как основа слова и какими признаками он характеризуется. Существуют притяжательные имена прилагательные, которые склоняются по-разному. Многие же слова склоняются однотипно. Все слова одного *типа склонения* имеют парадигматические таблицы с одними и теми же окончаниями [3]. Всего имеется четыре типа склонения полных притяжательных имен прилагательных. Они представлены табл. 2–5 окончаний для всех типов склонения с указанием их номеров, которые сопровождаются примерами основ, склоняемых по данному типу [3].

Таблица 2

1-сестрин			
—	<i>a</i>	<i>o</i>	<i>ы</i>
<i>ого</i>	<i>ой</i>	<i>ого</i>	<i>ых</i>
<i>a</i>		<i>a</i>	
<i>ому</i>	<i>ой</i>	<i>ому</i>	<i>ым</i>
<i>y</i>		<i>y</i>	
—			<i>ы</i>
<i>ого</i>	<i>y</i>	<i>o</i>	<i>ых</i>
<i>a</i>			
<i>ым</i>	<i>ой</i>	<i>ым</i>	<i>ыми</i>
	<i>ою</i>		
<i>ом</i>	<i>ой</i>	<i>ом</i>	<i>ых</i>

Таблица 3

2-отцов			
—	<i>a</i>	<i>o</i>	<i>ы</i>
<i>a</i>	<i>ой</i>	<i>a</i>	<i>ых</i>
<i>a</i>		<i>a</i>	
<i>y</i>	<i>ой</i>	<i>y</i>	<i>ым</i>
<i>y</i>		<i>y</i>	
—			<i>ы</i>
<i>a</i>	<i>y</i>	<i>o</i>	<i>ых</i>
<i>a</i>			
<i>ым</i>	<i>ой</i>	<i>ым</i>	<i>ыми</i>
	<i>ою</i>		
<i>ом</i>	<i>ой</i>	<i>ом</i>	<i>ых</i>

Таблица 4

3-лисий			
<i>ий</i>	<i>я</i>	<i>е</i>	<i>и</i>
<i>его</i>	<i>ей</i>	<i>его</i>	<i>их</i>
<i>его</i>		<i>его</i>	
<i>ему</i>	<i>ей</i>	<i>ему</i>	<i>им</i>
<i>ему</i>		<i>ему</i>	
<i>ий</i>			<i>и</i>
<i>его</i>	<i>ю</i>	<i>е</i>	<i>их</i>
<i>его</i>			
<i>им</i>	<i>ей</i>	<i>им</i>	<i>ими</i>
	<i>ею</i>		
<i>ем</i>	<i>ей</i>	<i>ем</i>	<i>их</i>

Таблица 5

4-дочерний			
<i>ий</i>	<i>яя</i>	<i>ее</i>	<i>ие</i>
<i>его</i>	<i>ей</i>	<i>его</i>	<i>их</i>
<i>его</i>		<i>его</i>	
<i>ему</i>	<i>ей</i>	<i>ему</i>	<i>им</i>
<i>ему</i>		<i>ему</i>	
<i>ий</i>			<i>ие</i>
<i>его</i>	<i>юю</i>	<i>ее</i>	<i>их</i>
<i>его</i>			
<i>им</i>	<i>ей</i>	<i>им</i>	<i>ими</i>
	<i>ею</i>		
<i>ем</i>	<i>ей</i>	<i>ем</i>	<i>их</i>

Тип склонения притяжательных имен прилагательных однозначно определяется *суффиксом* ос-

новы слова. Зависимость типа склонения от суффикса основы указана в табл. 6.

Таблица 6
Зависимость типа склонения
от суффикса основы слова

Суффикс основы слова	Тип склонения
ИН, НИН	1
ОВ, ЕВ, ЫН	2
—	3
Н	4

Также необходимо отметить, что в прилагательных, которые имеют третий тип склонения, в основе слова перед окончанием появляется смягчение (мягкий знак «ь»).

Таким образом, существует шесть признаков, которые однозначно определяют выбор нужной словоформы притяжательного имени прилагательного — грамматические: число, падеж, род, признаки одушевленности, архаичности, и лексикографические: суффикс, основа слова.

2. Математическое описание склонения притяжательных имен прилагательных

После определения грамматических и лексикографических признаков, однозначно задающих выбор окончания слова, руководясь табл. 1–5, приступаем к формальному описанию процесса склонения притяжательных имен прилагательных. С этой целью для каждого признака вводим свою предметную переменную: x_1 — *род* формы слова со значениями М — мужской, Ж — женский, С — средний; x_2 — *число* формы слова со значениями Е — единственное, М — множественное; x_3 — *падеж* формы слова со значениями И — именительный, Р — родительный, Д — дательный, В — винительный, Т — творительный, П — предложный; x_4 — *признак одушевленности* формы слова со значениями О — одушевленный, Н — неодушевленный; x_5 — *признак употребляемости* формы слова со значениями С — современная, А — архаичная; s — суффикс основы слова со значениями * (суффикс отсутствует), ОВ, ЕВ, ЫН, ИН, Н, НИН. Введем также предметные переменные для обозначения типа склонения слова, признака смягчения основы слова и окончания: t — *тип* склонения слова со значениями 1–4; w — *признак смягчения основы слова* со значениями: Ь, * (отсутствие смягчения); z — *окончание* формы слова со значениями: * (окончание отсутствует — нулевое), А, Я, У, Ю, Е, О, ЯЯ, ЮЮ, ЕЕ, ИЕ, ОЙ, ЕЙ, ОМ, ЕМ, ОГО, ЕГО, ОМУ, ЕМУ, ОЮ, ЕЮ, ИЙ, ЫМ, ИМ, Ы, И, ЫЕ, ЫХ, ИХ, ЫМИ, ИМИ.

Запишем области изменения для всех вышеперечисленных переменных. Получаем следующую систему формул алгебры предикатов:

$$\begin{aligned}
& x_1^M \vee x_1^J \vee x_1^C = 1; x_2^E \vee x_2^M = 1; \\
& x_3^И \vee x_3^P \vee x_3^Д \vee x_3^В \vee x_3^Т \vee x_3^П = 1; x_4^O \vee x_4^H = 1; \\
& x_5^C \vee x_5^A = 1; s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 = 1; w^b \vee w^* = 1; \\
& c^* \vee c^{ОВ} \vee c^{ЕВ} \vee c^{ИН} \vee c^{БН} \vee c^H \vee c^{НИН} = 1; \\
& z^* \vee z^A \vee z^П \vee z^Y \vee z^{Ю} \vee z^E \vee z^O \vee z^{ОЙ} \vee \\
& \vee z^{ЕЙ} \vee z^{ОМ} \vee z^{ЕМ} \vee z^{ОГО} \vee z^{ЕГО} \vee z^{ОМУ} \vee \\
& \vee z^{ЕМУ} \vee z^{ОЮ} \vee z^{ЕЮ} \vee z^{ИЙ} \vee z^{ЫМ} \vee z^{ИМ} \vee \\
& \vee z^{Ы} \vee z^{И} \vee z^{ЫХ} \vee z^{ИХ} \vee z^{ЫМИ} \vee z^{ИМИ} \vee \\
& \vee z^{ЯЯ} \vee z^{ЮЮ} \vee z^{ЕЕ} \vee z^{ИЕ} = 1.
\end{aligned}$$

Концовку «=1» для краткости можно опустить.

Сначала рассмотрим формульное описание *влияния контекста* на выбор окончания. Контекст, в который включено имя прилагательное, влияет на форму слова признаками $x_1 - x_5$. Типов влияния контекста не может быть больше, чем ячеек парадигматической таблицы [3]. Таким образом, число типов влияния контекста сразу ограничиваем сверху. Пронумеровав каждую ячейку парадигматической таблицы, таблицу 1 можно представить в следующем виде (табл. 7):

Таблица 7

x_3	x_2			M
	E			
	x_1			
	M	$Ж$	C	
И	1	8	15	21
Р	2	9	16	22
	28		31	
Д	3	10	17	23
	29		32	
В	4	11	18	24
	5			25
	30			
Т	6	12	19	26
		13		
П	7	14	20	27

Всего получаем 32 ячейки парадигматической таблицы. Вводим еще одну предметную q переменную со значениями 1, 2, ..., 32 $P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = q$. Выражаем номера ячеек парадигматической таблицы q через признаки $x_1 - x_5$:

$$\begin{aligned}
& x_1^M x_2^E x_3^И = q^1; x_1^M x_2^E x_3^P x_5^C = q^2; x_1^M x_2^E x_3^P x_5^A = q^{28}; \\
& x_1^M x_2^E x_3^Д x_5^C = q^3; x_1^M x_2^E x_3^Д x_5^A = q^{29}; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^H = q^4; \\
& x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O x_5^C = q^5; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O x_5^A = q^{30}; x_1^M x_2^E x_3^Т = q^6; \\
& x_1^M x_2^E x_3^П = q^7; x_1^J x_2^E x_3^И = q^8; x_1^J x_2^E x_3^P = q^9; \\
& x_1^J x_2^E x_3^Д = q^{10}; x_1^J x_2^E x_3^В = q^{11}; x_1^J x_2^E x_3^Т x_5^C = q^{12};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& x_1^J x_2^E x_3^Т x_5^A = q^{13}; x_1^J x_2^E x_3^П = q^{14}; x_1^C x_2^E x_3^И = q^{15}; \\
& x_1^C x_2^E x_3^P x_5^C = q^{16}; x_1^C x_2^E x_3^P x_5^A = q^{31}; x_1^C x_2^E x_3^Д x_5^C = q^{17}; \\
& x_1^C x_2^E x_3^Д x_5^A = q^{32}; x_1^C x_2^E x_3^В = q^{18}; x_1^C x_2^E x_3^Т = q^{19}; \\
& x_1^C x_2^E x_3^П = q^{20}; x_2^M x_3^И = q^{21}; x_2^M x_3^P = q^{22}; x_2^M x_3^Д = q^{23}; \\
& x_2^M x_3^В x_4^H = q^{24}; x_2^M x_3^В x_4^O = q^{25}; x_2^M x_3^Т = q^{26}; x_2^M x_3^П = q^{27}.
\end{aligned}$$

Выполняем операцию *почленной дизъюнкции* родственных равенств [3]:

$$\begin{aligned}
& x_1^M x_2^E x_3^И = q^1; (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^P x_5^C = q^2 \vee q^{16}; \\
& (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^P x_5^A = q^{28} \vee q^{31}; \\
& (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Д x_5^C = q^3 \vee q^{17}; \\
& (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Д x_5^A = q^{29} \vee q^{32}; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^H = q^4; \\
& x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O x_5^C = q^5; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O x_5^A = q^{30}; \\
& (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Т = q^6 \vee q^{19}; \\
& (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^П = q^7 \vee q^{20}; x_1^J x_2^E x_3^И = q^8; \\
& x_1^J x_2^E (x_3^P \vee x_3^Д \vee x_3^П) = q^9 \vee q^{10} \vee q^{14}; \\
& x_1^J x_2^E x_3^В = q^{11}; x_1^J x_2^E x_3^Т x_5^C = q^{12}; \\
& x_1^J x_2^E x_3^Т x_5^A = q^{13}; x_1^C x_2^E (x_3^И \vee x_3^В) = q^{15} \vee q^{18}; \\
& x_2^M x_3^И = q^{21}; x_2^M (x_3^P \vee x_3^П) = q^{22} \vee q^{27}; x_2^M x_3^Д = q^{23}; \\
& x_2^M x_3^В x_4^H = q^{24}; x_2^M x_3^В x_4^O = q^{25}; x_2^M x_3^Т = q^{26}.
\end{aligned}$$

Сформируем функцию перехода от номера ячейки парадигматической таблицы q к номеру влияния контекста r :

$$\begin{aligned}
& q^1 = r^1; q^2 \vee q^{16} = r^2; q^{28} \vee q^{31} = r^{20}; q^3 \vee q^{17} = r^3; \\
& q^{29} \vee q^{32} = r^{21}; q^4 = r^4; q^5 = r^5; q^{30} = r^{22}; \\
& q^6 \vee q^{19} = r^6; q^7 \vee q^{20} = r^7; q^8 = r^8; \\
& q^9 \vee q^{10} \vee q^{14} = r^9; q^{11} = r^{10}; q^{12} = r^{11}; q^{13} = r^{12}; \\
& q^{15} \vee q^{18} = r^{13}; q^{21} = r^{14}; q^{22} \vee q^{27} = r^{15}; q^{23} = r^{16}; \\
& q^{24} = r^{17}; q^{25} = r^{18}; q^{26} = r^{19}.
\end{aligned} \quad (1)$$

Область определения переменной r представлена в виде предиката:

$$\begin{aligned}
& r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee \\
& \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee \\
& \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19} \vee r^{20} \vee r^{21} \vee r^{22} = 1.
\end{aligned}$$

Введем номера влияния контекста на выбор нужной словоформы, перенумеровав ячейки парадигматической таблицы, в соответствии с формулой (1), как представлено в табл. 8:

Таблица 8

x_3	x_2			M
	E			
	x_1			
	M	Ж	C	
И	1	8	13	14
Р	2	9	2	15
	20		20	
Д	3	9	3	16
	21		21	
В	4	10	13	17
	5			18
	22			
Т	6	11	6	19
		12		
П	7	9	7	15

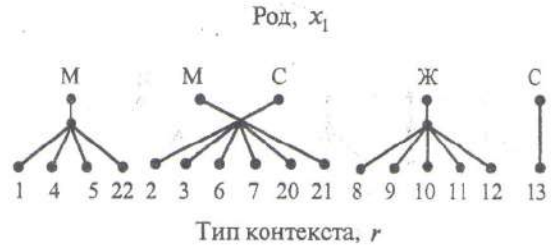
Функция номера влияния контекста $r(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & x_1^M x_2^E x_3^И = r^1; (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^P x_5^C = r^2; \\
 & (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^P x_5^A = r^{20}; (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Д x_5^C = r^3; \\
 & (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Д x_5^A = r^{21}; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^H = r^4; \\
 & x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O x_5^C = r^5; x_1^M x_2^E x_3^В x_4^O x_5^A = r^{22}; \\
 & (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^Т = r^6; (x_1^M \vee x_1^C) x_2^E x_3^П = r^7; \\
 & x_1^Ж x_2^E x_3^И = r^8; x_1^Ж x_2^E (x_3^P \vee x_3^Д \vee x_3^П) = r^9; \\
 & x_1^Ж x_2^E x_3^В = r^{10}; x_1^Ж x_2^E x_3^Т x_5^C = r^{11}; \\
 & x_1^Ж x_2^E x_3^Т x_5^A = r^{12}; x_1^C x_2^E (x_3^И \vee x_3^В) = r^{13}; \\
 & x_2^M x_3^И = r^{14}; x_2^M (x_3^P \vee x_3^П) = r^{15}; x_2^M x_3^Д = r^{16}; \\
 & x_2^M x_3^В x_4^H = r^{17}; x_2^M x_3^В x_4^O = r^{18}; x_2^M x_3^Т = r^{19}.
 \end{aligned}$$

Произведем бинаризацию только что записанных отношений, связывающих переменную r с переменными x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 . Для этого отыскиваем отношения $P_i, i = \overline{1, 5}$, связывающие переменные r и $x_i, i = \overline{1, 5}$, и изобразим данные отношения в виде двудольных графов. Связь между x_1 и r :

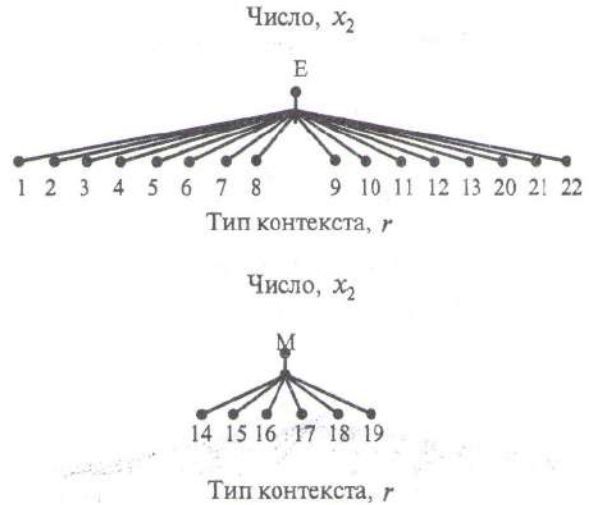
$$\begin{aligned}
 P_1(x_1, r) = & x_1^M (r^1 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^{22}) \vee \\
 & \vee (x_1^M \vee x_1^C) (r^2 \vee r^3 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^{20} \vee r^{21}) \vee \\
 & \vee x_1^Ж (r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12}) \vee x_1^C r^{13} \vee \\
 & \vee (x_1^M \vee x_1^Ж \vee x_1^C) (r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).
 \end{aligned}$$

Двудольный граф, соответствующий данному отношению, имеет вид:


 Рис. 1. Двудольный граф отношения $P_1(x_1, r)$

Отношение $P_2(x_2, r)$ определяет связь между переменными x_2 и r :

$$\begin{aligned}
 P_2(x_2, r) = & x_2^E (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee \\
 & \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{20} \vee r^{21} \vee r^{22}) \vee \\
 & \vee x_2^M (r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).
 \end{aligned}$$


 Рис. 2. Двудольный граф отношения $P_2(x_2, r)$

Связь между переменными x_3 и r выражается отношением $P_3(x_3, r)$:

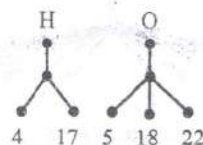
$$\begin{aligned}
 P_3(x_3, r) = & x_3^И (r^1 \vee r^8 \vee r^{14}) \vee x_3^P (r^2 \vee r^{20}) \vee \\
 & \vee x_3^Д (r^3 \vee r^{16} \vee r^{21}) \vee \\
 & \vee x_3^В (r^4 \vee r^5 \vee r^{10} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{22}) \vee \\
 & \vee x_3^Т (r^6 \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{19}) \vee x_3^П r^7 \vee \\
 & \vee (x_3^P \vee x_3^Д \vee x_3^П) r^9 \vee (x_3^И \vee x_3^В) r^{13} \vee (x_3^P \vee x_3^П) r^{15}.
 \end{aligned}$$

Рис. 3. Двудольный граф отношения $P_3(x_3, r)$

Отношение $P_4(x_4, r)$ задает связь переменных x_4 и r :

$$P_4(x_4, r) = x_4^H (r^4 \vee r^{17}) \vee x_4^O (r^5 \vee r^{18} \vee r^{22}) \vee (x_4^H \vee x_4^O) (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^5 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{19} \vee r^{20} \vee r^{21}).$$

Признак одушевленности, x_4



Тип контекста, r

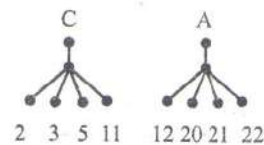
Признак одушевленности, x_4

Рис. 4. Двудольный граф отношения $P_4(x_4, r)$

Связь между переменными x_5 и r задает предикат $P_5(x_5, r)$ и граф на рис. 5:

$$P_5(x_5, r) = x_5^C (r^2 \vee r^3 \vee r^5 \vee r^{11}) \vee x_5^A (r^{12} \vee r^{20} \vee r^{21} \vee r^{22}) \vee (x_5^C \vee x_5^A) (r^1 \vee r^4 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).$$

Признак употребляемости, x_5



Тип контекста, r

Признак употребляемости, x_5

Рис. 5. Двудольный граф отношения $P_5(x_5, r)$

Формульное описание влияния контекста на выбор окончания слова закончено. Теперь проследим, как влияет на выбор формы слова такой фактор, как *основа слова*. Суффикс основы слова c однозначно определяет тип склонения слова s . Зависимость $g(c) = s$ показана в табл. 6. С помощью данной таблицы записываем функцию типа склонения на языке алгебры предикатов.

$$c^{\text{ИН}} \vee c^{\text{НИН}} = s^1; c^{\text{ОВ}} \vee c^{\text{ЕВ}} \vee c^{\text{ЫН}} = s^2; c^* = s^3; c^{\text{Н}} = s^4.$$

Произведем бинаризацию функции $g(c) = s$. Для этого составим отношение P_6 , связывающее переменные s и c :

$$P_6(c, s) = (c^{\text{ИН}} \vee c^{\text{НИН}}) s^1 \vee (c^{\text{ОВ}} \vee c^{\text{ЕВ}} \vee c^{\text{ЫН}}) s^2 \vee c^* s^3 \vee c^{\text{Н}} s^4.$$

Двудольный граф, описывающий данное отношение, имеет вид:

Рис. 6. Двудольный граф отношения $P_6(c, s)$

Таким образом мы математически описали связь между признаками контекста и типом контекста — предикаты $P_1(x_1, r)$, $P_2(x_2, r)$, $P_3(x_3, r)$, $P_4(x_4, r)$, $P_5(x_5, r)$, и связь между типом склонения и признаком, который однозначно определяет выбор типа

склонения основы слова — предикат $P_6(c, s)$. Теперь можем приступить к рассмотрению связи окончания z и признака смягчения основы слова w притяжательного имени прилагательного с типом контекста r и типом склонения основы слова s . Зависимость между переменными z, r представлена в табл. 9.

Таблица 9
Зависимость окончания от типа контекста

Тип контекста, r	Окончание, z
1	*, ИЙ
2	ОГО, А, ЕГО
3	ОМУ, У, ЕМУ
4	*, ИЙ
5	ОГО, А, ЕГО
6	ЫМ, ИМ
7	ОМ, ЕМ
8	А, Я, ЯЯ
9	ОЙ, ЕЙ
10	У, Ю, ЮЮ
11	ОЙ, ЕЙ
12	ОЮ, ЕЮ
13	О, Е, ЕЕ
14	Ы, И, ИЕ
15	ЫХ, ИХ
16	ЫМ, ИМ
17	Ы, И, ИЕ
18	ЫХ, ИХ
19	ЫМИ, ИМИ
20	А, ЕГО
21	У, ЕМУ
22	А, ЕГО

Используя данную таблицу, запишем отношение $P_7(r, z)$, определяющее связь между типом контекста и окончанием:

$$\begin{aligned}
 P_7(r, z) = & (r^1 \vee r^4) (z^* \vee z^{\text{ИЙ}}) \vee \\
 & \vee (r^2 \vee r^5) (z^{\text{ОГО}} \vee z^{\text{А}} \vee z^{\text{ЕГО}}) \vee \\
 & \vee r^3 (z^{\text{ОМУ}} \vee z^{\text{У}} \vee z^{\text{ЕМУ}}) \vee \\
 & \vee (r^6 \vee r^{16}) (z^{\text{ЫМ}} \vee z^{\text{ИМ}}) \vee \\
 & \vee r^7 (z^{\text{ОМ}} \vee z^{\text{ЕМ}}) \vee r^8 (z^{\text{А}} \vee z^{\text{Я}} \vee z^{\text{ЯЯ}}) \vee \\
 & (r^9 \vee r^{11}) (z^{\text{ОЙ}} \vee z^{\text{ЕЙ}}) \vee r^{10} (z^{\text{У}} \vee z^{\text{Ю}} \vee z^{\text{ЮЮ}}) \vee \\
 & \vee r^{12} (z^{\text{ОЮ}} \vee z^{\text{ЕЮ}}) \vee r^{13} (z^{\text{О}} \vee z^{\text{Е}} \vee z^{\text{ЕЕ}}) \vee \\
 & \vee (r^{14} \vee r^{17}) (z^{\text{Ы}} \vee z^{\text{И}} \vee z^{\text{ИЕ}}) \vee \\
 & \vee (r^{15} \vee r^{18}) (z^{\text{ЫХ}} \vee z^{\text{ИХ}}) \vee \\
 & \vee r^{19} (z^{\text{ЫМИ}} \vee z^{\text{ИМИ}}) \vee r^{21} (z^{\text{У}} \vee z^{\text{ЕМУ}}) \vee \\
 & \vee (r^{20} \vee r^{22}) (z^{\text{А}} \vee z^{\text{ЕГО}}).
 \end{aligned}$$

Двудольный граф, соответствующий данному отношению, имеет вид:

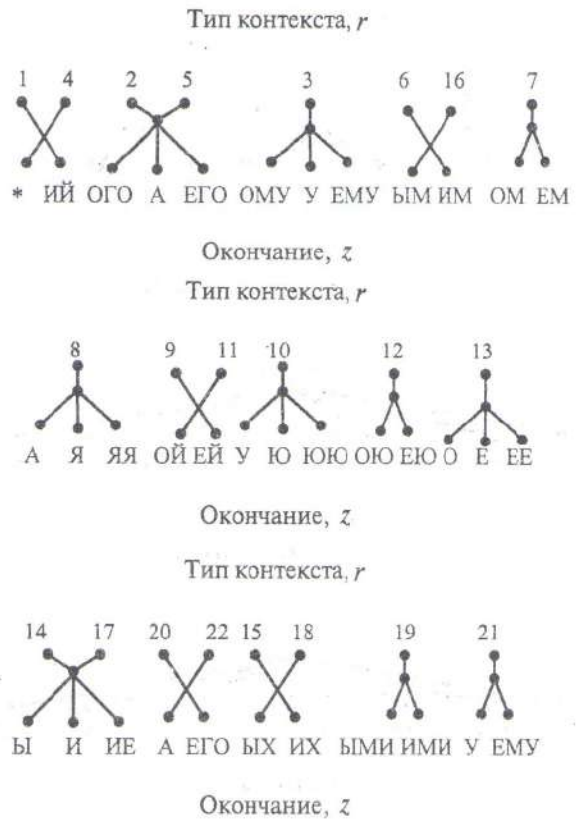


Рис. 7. Двудольный граф отношения $P_7(r, z)$

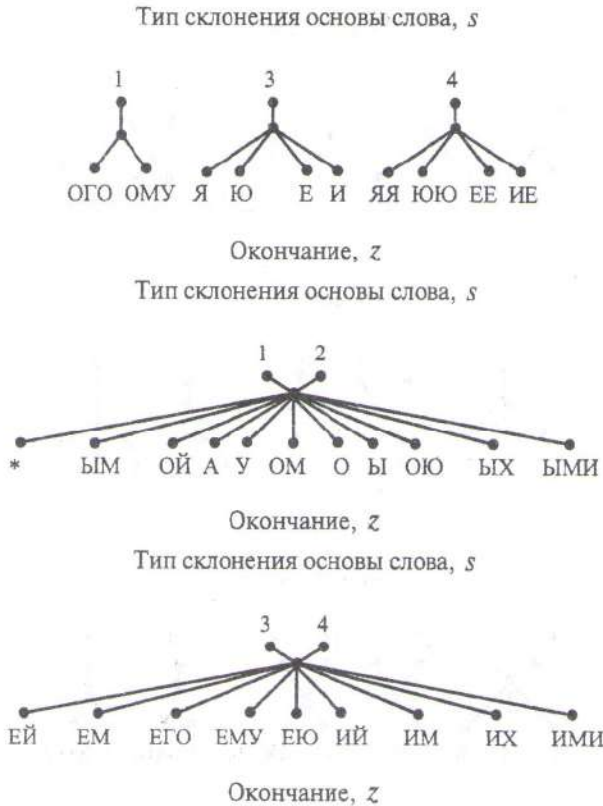
Связь типа склонения основы слова s с окончанием словоформы z представлена в табл. 10.

Таблица 10
Зависимость окончания от типа склонения основы слова

Тип склонения, s	Окончание слова, z
1	*, ОГО, А, ОМУ, У, ЫМ, ОМ, ОЙ, ОЮ, О, Ы, ЫХ, ЫМИ
2	*, А, У, ЫМ, ОМ, ОЙ, ОЮ, О, Ы, ЫХ, ЫМИ
3	ИЙ, ЕГО, ЕМУ, ИМ, ЕМ, Я, ЕЙ, Ю, ЕЮ, Е, И, ИХ, ИМИ
4	ИЙ, ЕГО, ЕМУ, ИМ, ЕМ, ЯЯ, ЕЙ, ЮЮ, ЕЮ, ЕЕ, ИЕ, ИХ, ИМИ

По данной таблице можно построить предикат, описывающий зависимость между переменными s и z , и двудольный граф, соответствующий данному предикату:

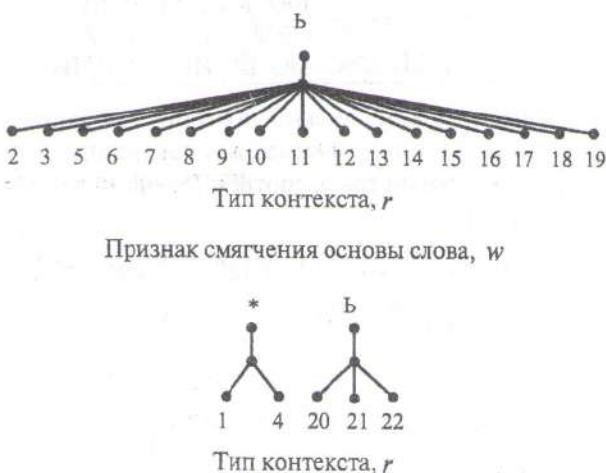
$$\begin{aligned}
 P_8(s, z) = & s^1 (z^{\text{ОГО}} \vee z^{\text{ОМУ}}) \vee s^3 (z^{\text{Я}} \vee z^{\text{Ю}} \vee z^{\text{Е}} \vee z^{\text{И}}) \vee \\
 & \vee s^4 (z^{\text{ЯЯ}} \vee z^{\text{ЮЮ}} \vee z^{\text{ЕЕ}} \vee z^{\text{ИЕ}}) \vee \\
 & \vee (s^1 \vee s^2) (z^* \vee z^{\text{А}} \vee z^{\text{У}} \vee z^{\text{ЫМ}} \vee z^{\text{ОЙ}} \vee z^{\text{ОМ}} \vee \\
 & \vee z^{\text{ОЮ}} \vee z^{\text{О}} \vee z^{\text{Ы}} \vee z^{\text{ЫХ}} \vee z^{\text{ЫМИ}}) \vee \\
 & \vee (s^3 \vee s^4) (z^{\text{ЕЙ}} \vee z^{\text{ЕМ}} \vee z^{\text{ЕГО}} \vee z^{\text{ЕМУ}} \vee z^{\text{ЕЮ}} \vee \\
 & \vee z^{\text{ИЙ}} \vee z^{\text{ИМ}} \vee z^{\text{ИХ}} \vee z^{\text{ИМИ}}).
 \end{aligned}$$

Рис. 8. Двудольный граф отношения $P_8(s, z)$

Предикаты $P_9(w, r)$ и $P_{10}(w, s)$ и соответствующие им двудольные графы представлены ниже.

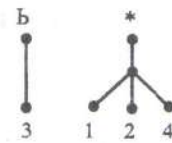
$$P_9(w, r) = w^b (r^2 \vee r^3 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19} \vee r^{20} \vee r^{21} \vee r^{22}) \vee w^* (r^1 \vee r^4).$$

Признак смягчения основы слова, w

Рис. 9. Двудольный граф отношения $P_9(w, r)$

$$P_{10}(w, s) = w^b s^3 \vee w^* (s^1 \vee s^2 \vee s^4).$$

Признак смягчения основы слова, w

Рис. 10. Двудольный граф отношения $P_{10}(w, s)$

Таким образом, математическая модель склонения притяжательных имен прилагательных русского языка характеризуется системой бинарных отношений

$$P_1(x_1, r), P_2(x_2, r), P_3(x_3, r), P_4(x_4, r), P_5(x_5, r),$$

$$P_6(c, s), P_7(r, z), P_8(s, z), P_9(w, r) \text{ и } P_{10}(w, s),$$

задающихся формулами соответствующих предикатов и графически изображаемые в виде двудольных графов, изображенных на рис. 1—10. Конъюнкция данных предикатов [7] задает *предикат модели*, который описывает структуру склонения притяжательных имен прилагательных:

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, r, c, s, z) = P_1(x_1, r) \wedge P_2(x_2, r) \wedge P_3(x_3, r) \wedge P_4(x_4, r) \wedge P_5(x_5, r) \wedge P_6(c, s) \wedge P_7(r, z) \wedge P_8(s, z) \wedge P_9(w, r) \wedge P_{10}(w, s).$$

Данное отношение связывает между собой предметные переменные $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, r, c, s, w, z$, обозначающие признаки, которые влияют на выбор нужной словоформы (выбор окончания притяжательного имени прилагательного).

Графическим представлением модели P склонения притяжательных имен прилагательных является логическая сеть, изображенная на рис. 11. Числа, стоящие над ветвями сети, указывают на номер соответствующего отношения P_i .

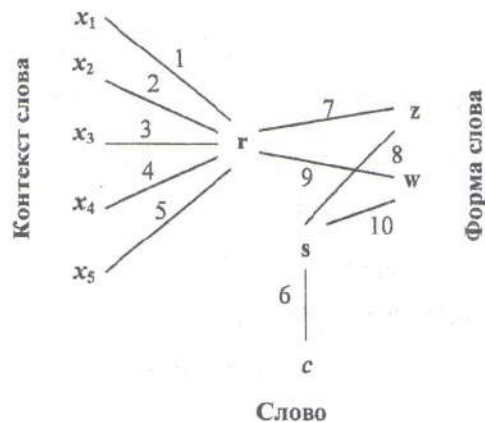


Рис. 11. Логическая сеть

Общие принципы построения и работы логической сети представлены в [3]. Отметим кратко основные моменты. Каждый полюс сети характеризуется только своей предметной переменной и ее областью задания, а каждая ветвь — своим двуместным предикатом, который зависит от переменных, указанных на концах этой ветви [7]. По ветвям цепи в обе стороны происходит движение информации в виде преобразования множеств. В первом полутакте идет линейное логическое преобразование множеств, во втором — конъюнкция входных множеств по каждому полюсу. Затем идет второй, третий и так далее такты. Информация распространяется по сети волнообразно. Процесс заканчивается, причем, за конечное число тактов, когда очередной такт не дает уже никакого изменения состояния сети в полюсах. В пределах системы отношений, реализованных в сети, сеть находит знание относительно любой предметной переменной [2].

Выводы

Основным результатом работы является построение математической модели склонения притяжательных имен прилагательных русского языка. На данном примере продемонстрирован в действии алгебрологический подход к описанию и принцип параллельной обработки естественно-языковой информации: модель любого механизма языка и мышления описывается с помощью системы отношений, каждое из которых выражается некоторой формулой алгебры предикатов; каждую такую формулу можно представить некоторой схемой, которая без труда реализуется существующими средствами радиоэлектроники; в результате получается сеть, которая была названа логической [8].

Предложенный проект есть один из компонентов, который можно использовать в существующих системах и на пути создания будущих систем естественно-языкового поиска, автоматического перевода, редактирования, реферирования, бесклавиатурного ввода речевой информации, а также других систем искусственного интеллекта. Продемон-

стрированный алгебрологический подход к формализации русского языка можно использовать и для построения формальной модели любого другого естественного языка, т. к. все языки с математической точки зрения представляют собой тождественные алгебры.

Перспективы дальнейших исследований в данном направлении состоят в проведении всестороннего анализа алгебрологической структуры естественного языка. Сеть работает лишь для притяжательных и полных непритяжательных [3] прилагательных. Необходимо описать и другие аспекты грамматики: словоизменение для остальных частей речи, словообразование, грамматику словосочетания и т. д. Все это будет описано по одному и тому же алгебрологическому принципу, эффективность и жизнеспособность которого продемонстрирована данным проектом. Далее необходимо было бы объединить полученные модели в одну общую и построить логическую сеть для данной модели, которая будет решать необходимые естественно-языковые задачи. Однако логическая сеть как технология описания естественного языка нуждается в дальнейшем совершенствовании.

Список литературы: 1. Широков В. А. Феноменология лексикографических систем. К.: Наукова думка, 2004. — 327 с. 2. Логическая сеть как технология моделирования естественного языка / Ю.П. Шабанов-Кушнаренко, В.И. Хаканов, Н.Т. Процай и др. // Тез. науч. практич. конф. «Информационные технологии — в науку и образование». Харьков, Украина, 21–22 марта 2005. 3. Бондаренко М. Ф., Чикина В. А., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Модели языка // Бионика интеллекта. 2004. №1 (61). С. 27–37. 4. Четвериков Г. Г. Алгебро-логічні засоби моделювання природної мови (Повідомлення 1) // Бионика интеллекта. №1 (61). 2004. — С. 42–45. 5. Зализняк А. А. Грамматический словарь русского языка. М.: Русский язык, 1977. — 879 с. 6. Грамматика русского языка. М.: АН СССР. В 3-х томах. 1960. 7. О мозгоподобных ЭВМ / М. Ф. Бондаренко, З. В. Дударь, И. А. Ефимова и др. // Радиоэлектроника и информатика. № 2. 2004. — С. 89–105. 8. Brainlike computing / Shabanov-Kushnarenko Yu., Obrizan V., Protsay N. and other // IEEE East-West design & test workshop - EWDWTW'05. Odessa, Ukraine, September 15–19, 2005.

Поступила в редколлегию 31.05.2005

УДК 681.518:004:912

А.Л. Ерохин

АЛГЕБРО-ЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В СИСТЕМАХ С КАНАЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ

1. Введение

В статье рассматривается задача разработки алгебро-логических средств для идентификации и визуализации систем, в которых можно выделить множество уровней иерархии, сложную многоуровневую систему управления, сетевую архитектуру, гетерогенные узлы и каналы для транспорта целевого продукта и имеющую основную функцию — доставку целевого продукта по каналам системы. К таким системам относятся инженерные, электрические, информационные сети. Вопросы управления доставкой целевого продукта в таких системах при штатных (так называемых нормальных) режимах работы исследованы и практически реализованы в [1].

Нерешенными остаются проблемы по следующим направлениям:

- разработка концепции и формального аппарата, для идентификации и визуализации нештатной ситуации (вариативного поведения интеллектуальной системы) на основе моделей интеллекта, реализующих когнитивные и реактивные функции (функция внимания, сенсомоторные реакции);

- разработка методов и моделей визуализации нештатных ситуаций, активизирующих когнитивные функции человека-оператора и повышающих качество идентификации нештатной ситуации путем визуализации.

2. Постановка задачи визуализации нештатных ситуаций

При разработке первого направления в качестве отправной точки был положен вывод о том, что всякое устойчивое состояние системы является временным состоянием системы, т. е. относительно устойчивым. Абсолютная устойчивость любой системы является абстракцией [2].

Основу второго направления составили исследования инженерной психологии, которые установили, что наилучшим способом представления человеку-оператору информации о состоянии системы является визуализация режимов, поскольку такой подход позволяет активизировать когнитивные реакции человека, что повышает оперативность и качество принятия решения. Особенно эффективным такой подход становится при распознавании нештатной ситуации и выработке соответствующей реакции человеком-оператором. Психология мышления рассматривает два способа представления человеку информации — в виде пос-

ледовательности символов и виде цельного образа (изображения), что в совокупности обеспечивает феномен человеческого мышления. Под визуализацией понимается построение модели представления информации человеку. На рис. 1 приведена классификация направлений визуализации и выделены предметы объектного исследования, а также указаны направления визуализации, позволяющие решить поставленные задачи: по задачам визуализации — функциональная визуализация; по способу представления информации человеку-оператору — 2D- и 3D-визуализация; по способу воздействия на операторские функции человека — когнитивная; по способу технической реализации — в виде непрерывно-дискретных отображений.

3. Исследование предметной области

Под нештатной ситуацией (НС) будем понимать такое отклонение параметров сложной системы, которое приводит к переходу системы от текущего дискретного состояния к другому, входящему во множество всех возможных состояний системы.

Для сложных систем с канальной структурой характерно наличие каналов, которые образуют множество входов-выходов, которые могут быть определены в системе по типам и структурам связей-отношений между подсистемами.

Каналы можно подразделить на системные (СК), которые состоят из множеств элементарных каналов (ЭК). Эволюция системы S в многомерном фазовом пространстве характеризуется множеством изменений в системе параметров их входов-выходов A и B , которые представлены их декартовым произведением подмножеств $S \subset A \times B$, где подмножество $A = \times \{V_i : i \in I_A\}$ — входной объект; $B = \times \{V_i : i \in I_B\}$ — выходной объект системы S . Рассмотрим свойства множеств ЭК:

- дискретности счетных множеств $a_i \in A$ и $b_j \in B$ в СК;

- взаимной сопряженности входов-выходов $a_i \in A$ и $b_j \in B$ для каждого ЭК w_j , из чего вытекает изоморфизм и тождество отображений $a_i \leftrightarrow b_j$;

- информационной независимости ЭК $w_i \cap w_j = 0$, т. е. $a_i \cap a_j = 0$ и $b_i \cap b_j = 0$.

Для обработки многомерных и многозначных параметров сложных систем с канальной структурой будем рассматривать следующие векторы взаимодействий системы: $\overline{\varphi}_i$ — векторы технологических параметров со скалярными переменными $\Delta \varphi_i$; $\overline{\zeta}_j$ — векторы корректировок параметров управ-



Рис. 1. Выбор объекта, предмета и способов визуализации нештатных ситуаций

ления со скалярными переменными $\Delta\zeta_J$; $\bar{\theta}_L$ — векторы параметров планирования со скалярными переменными $\Delta\theta_L$; $\bar{\mu}_L$ — векторы корректировок параметров планирования со скалярными переменными $\Delta\mu_L$; $\bar{P}_{FS}$ — векторы, описывающие базовые операторские функции человека-оператора или лица, принимающего решения (психофизиологического состояния); $\bar{v}_{FS}$ — векторы корректировок психофизиологического состояния.

Тогда необходимо определить линейно-независимый набор, включающий ограниченное число сигналов для построения модели сигналов с дискретным временем

$$a: Z_n \rightarrow R^m, \quad (1)$$

где $Z_n = \{1, 2, \dots, N\}$ — множество моментов времени.

Набор a представляется последовательностью

$$\begin{pmatrix} \varphi_I^1 \\ \Delta\zeta_J^1 \\ \Delta\theta_L^1 \\ \Delta\mu_L^1 \\ P_{FS}^1 \\ v_{FS}^1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \varphi_I^2 \\ \Delta\zeta_J^2 \\ \Delta\theta_L^2 \\ \Delta\mu_L^2 \\ P_{FS}^2 \\ v_{FS}^2 \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} \varphi_I^N \\ \Delta\zeta_J^N \\ \Delta\theta_L^N \\ \Delta\mu_L^N \\ P_{FS}^N \\ v_{FS}^N \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В [2–4] предложена модель визуализации в виде флуктуационной капсулы параметров режимов сложной системы. Тогда основной задачей является разработка алгебро-логических средств, которые позволяют идентифицировать набор (2) и строить для него флуктуационную капсулу параметров.

4. Разработка алгебро-логических средств для идентификации и визуализации нештатных ситуаций

Используя аппарат алгебры конечных предикатов и предикатных операций Ю.П.Шабанова-Кушнarenко [5–8] разработаем алгебро-логические средства для идентификации и визуализации нештатных ситуаций.

Рассмотрим нештатную ситуацию в сложной системе. Множество нештатных ситуаций (НС) — открытое. Для открытого множества НС аксиоматически введем меру (метрику).

А1. Для случая, когда нештатная ситуация отсутствует, зададим топологию, как соответствие между входом и выходом (1 вход — 1 выход — инвариант тождества):

$$T = A * B, \quad (3)$$

где A — алфавит, B — носитель топологии.

Если можно выделить m элементов, которые неизменны, то можно определить носитель топологии U . Если метрика четкая, то можно отнести

данную ситуацию к нештатной ситуации класса A с образованием предикатного множества A .

A2. Для нештатной ситуации и системы с бифуркацией зададим соответствие 1 вход — n выходов. При этом, если входы и выходы нетождественны, то появляется нештатное состояние, которое определено ранее как НС. Тогда основная задача алгебры нештатных ситуаций (АНС) формулируется как распознавание и классификация этих несоответствий — нештатных ситуаций. Для упругой связи — метрика переменная (нечеткая), тогда данную ситуацию будем относить к нештатной ситуации класса B . Предикатное множество класса B — это предикаты с размытыми составляющими. Если невозможно установить метрику, то данную ситуацию будем относить к нештатной ситуации класса C .

A3. При переходе флуктуационного параметра за границы предиката класса B его предикатная переменная переходит в предикатную переменную более высокого класса. В каждой из предикатных переменных есть дополнительные условия.

Рассмотрим свойства флуктуационной капсулы, которая была определена в [2–4]. Множество предельных траекторий динамической системы детерминированы замыканием или поверхностью многомерного шара. В каждом $(m-k)$ -мерном сечении по k -базовым координатам множества протекающих динамических процессов могут быть представлены детерминированными хаотическими процессами. При этом хаотические процессы отображаются на каждом $(m-k)$ -мерном сечении многомерного шара. Каждое из сечений в общем виде может рассматриваться как фазовое пространство, ограниченное собственными замыканиями и заполняемое множеством траекторий развития этих процессов. Внутренность n -мерного шара является спектром реализованных и не реализованных состояний относительно устойчивой СС.

Рассмотрим вопрос, связанный с поведением флуктуационной капсулы устойчивости системы с учетом критериев важности тех или иных флуктуаций, влияющих на поведение СС в возможных конфликтах «система — окружающая среда», «система — человек», «система — внутренняя среда». Введем конечный предикат узнавания нештатной ситуации

$$P(b_{kl}) = f_{kl}^{b_{kl}}; \quad P(b_{kl}) = 1 \vee (kl) = (kl), \quad (4)$$

где для всех параметров (kl) соответствующие фрагменты функции остаются внутри или вне многомерного шара или его сечения. Считаем, что для любого из (kl) -параметров, который выходит за пределы замыкания, предикат (4) принимает нулевое значение

$$\exists (kl) \rightarrow P(b_{kl}) = 0. \quad (5)$$

Тогда для относительно устойчивого состояния значение предиката — единичное. В общем виде двумерная матрица, составленная из соответствующих предикатных переменных параметров, оставшихся внутри многомерного шара или вышедших за пределы его замыканий, будет состоять из единичных и нулевых элементов. Со временем число флуктуаций параметров, вышедших за пределы замыкания многомерного шара увеличивается и число нулевых значений предикатов также увеличивается. Учет структуры предполагает неравноценность каждого из параметров, которые определяются разными весовыми характеристиками.

Определение 1. Дизъюнктивно-конъюнктивной алгеброй нештатных ситуаций назовем алгебру предикатных операций с базисными операциями дизъюнкции и конъюнкции и базисными элементами — предикатами узнавания НС. Определенная алгебра является частным случаем дизъюнктивно-конъюнктивной алгебры предикатных операций. Теорема о ее полноте доказана в [9]. Рассмотрим основные задачи, которые решаются с помощью алгебры нештатных ситуаций:

- 1) формульная запись систем психофизиологических состояний при исследовании интеллектуальной деятельности человека-оператора;
- 2) выражение смысловой структуры вырабатываемого решения в процессе принятия решения человеком-оператором при нештатной ситуации;
- 3) построение моделей сложных систем при нештатных ситуациях с целью повышения оперативности принимаемого решения;
- 4) построение моделей флуктуационной капсулы параметров и на ее основе разработки методов и моделей визуализации нештатных ситуаций в системе с канальной структурой.

Наиболее быстродействующим техническим решением для заданного базиса является аппаратно-программное решение, основанное на пороговой логике.

5. Применение пороговых функций для идентификации нештатных ситуаций

Рассмотрим вопрос о построении пороговых вычислительных устройств для идентификации нештатных ситуаций в системе. Как известно из [9], простейшие пороговые устройства преобразуют n -мерный сигнал $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ в двухэлементное множество $\{0, 1\}$. При этом пороговая функция является двухзначной функцией, заданной на множестве A мощности n , которое состоит из всех векторов $(\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n)$.

Двухзначная пороговая функция P выполняет разбиение множества A на два непересекающихся подмножества A_0 и A_1 , где каждое подмножество состоит из тех векторов $(\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n)$, для которых f принимает одно и то же значение. Рассмотрим

n -мерное евклидово пространство E_n , тогда векторы $(\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n)$ образуют единичный многогранник (n -мерную сферу S_n), сводимую для удобства рассмотрения к n -мерному кубу S_n .

Отыщем способ разбиения единичной сферы S_n на два непересекающихся подмножества. Для этого выберем разбиение гиперплоскостью $\omega_1 a_1 + \omega_2 a_2 + \dots + \omega_n a_n + \omega_0 = 0$, которая делит пространство E_n на две части:

$$E0 = \{(a_1, \dots, a_n) \in E_n, \omega_1 a_1 + \omega_2 a_2 + \dots + \omega_n a_n + \omega_0 \leq 0\} \quad (6)$$

и

$$E1 = \{(a_1, \dots, a_n) \in E_n, \omega_1 a_1 + \omega_2 a_2 + \dots + \omega_n a_n + \omega_0 > 0\}. \quad (7)$$

Множество вершин многомерного куба S_n разделяется на два подмножества $A0 = A \cap E0$ и $A1 = A \cap E1$.

Сформулируем задачу о разработке метода синтеза многозначных логических аппаратных и программных устройств для распознавания нештатных ситуаций в сложных интеллектуальных системах. Для этого необходимо определить все возможные пороговые разбиения множества вершин куба S_n с помощью гиперплоскостей. Рассмотрим варианты таких разбиений для следующих случаев:

1) двухзначный случай для распознавания наличия или отсутствия аварийного режима ($k=2$). Множество выхода $B_k = \{0, 1\}$;

2) трехзначный случай для узнавания нормального режима, нештатной ситуации, аварийного режима ($k=3$). Множество выхода $B_k = \{(0, \varepsilon, 1.0)\}$;

3) четырехзначный случай для узнавания нормального режима, нештатной ситуации, предаварийной ситуации и аварийного режима ($k=4$). Множество выхода $B_k = \{(0, \varepsilon, \Delta_1, 1.0)\}$;

4) k -значный случай для узнавания нормального режима, нештатной ситуации, r -предаварийных ситуаций и аварийного режима ($k = r + 3$). Множество выхода $B_k = \{(0, \varepsilon, \Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_r, 1.0)\}$.

Рассмотрим случай $k=2$. Множество A составлено из вершин квадрата $(0,0)$, $(1,0)$, $(0,1)$, $(1,1)$, причем каждую вершину можно отделить от трех остальных прямой. Так же пороговыми являются разбиения $\{(0,0), (1,0)\}$, $\{(0,0), (0,1)\}$, $\{(0,1), (1,1)\}$, $\{(1,1), (1,0)\}$. Для этого случая имеется готовый аппарат булевой алгебры конечных предикатов.

Рассмотрим более сложные случаи 2, 3 и 4.

Определим функцию P , как k -значный предикат со значениями в множестве выхода B_k . Тогда задача синтеза многозначного порогового элемента [10], который реализует k -значный конечный предикат $f(\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n)$, формулируется следующим образом: для заданной функции f определить, является ли она пороговой и установить, по крайней мере, один из векторов ее структуры

$$W = \{\omega_1, \dots, \omega_n, \omega_0\}, \quad (8)$$

где $\omega_1, \dots, \omega_n$ — веса k -значных переменных из множества входа A ; ω_0 — порог.

Зададим алфавит входной $A = \{a_1, \dots, a_k\}$ векторов взаимодействий системы, т. е. факторов, которые определяют выполнение целевой функции системы, и алфавит выходной $B = \{(0, \varepsilon, \Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_r, 1.0)\}$, состоящий из классов нормального режима, нештатных, предаварийных и аварийных ситуаций в сложной системе.

Тогда АНС задается как алгебра предикатных операций для выходного алфавита B , содержащего нечеткую переменную. Для обработки многомерных и многозначных параметров системы зададим входное множество векторов взаимодействий системы

$$A = \{a_1, \dots, a_6\}, \quad (9)$$

где $a_1 = (\vec{\varphi}_I)$ — множество векторов технологических параметров со скалярными переменными $\Delta\varphi_I$; $a_2 = (\vec{\zeta}_J)$ — множество векторов корректировок параметров управления со скалярными переменными $\Delta\zeta_J$; $a_3 = (\vec{\theta}_L)$ — множество векторов параметров планирования со скалярными переменными $\Delta\theta_L$; $a_4 = (\vec{\mu}_L)$ — множество векторов корректировок параметров $(\vec{\varphi}_I)$ — векторы технологических параметров со скалярными переменными $\Delta\varphi_I$; $a_5 = (\vec{P}_{FS})$ — множество векторов, описывающих базовые операторские функции лица, принимающего решения (психофизиологического состояние ЛПР); $a_6 = (\vec{v}_{FS})$ — множество векторов корректировок ПФС человека-оператора.

6. Моделирование стохастических процессов в сложной системе канального типа

Многие быстропротекающие процессы, происходящие в сложных системах, характеризуются динамическим изменением состояний, в том числе и не предусмотренных алгоритмами контроля, управления и принятия решений. Часто причинами изменений состояний являются случайные факторы. Моделирование стохастических процессов перехода системы в следующее состояние представляет большой интерес, т. к. позволяет разрабатывать новые подходы в прогнозировании нештатных ситуаций и принятии решений, а также позволяет разработать новые принципы распознавания НС на фоне помех и искажений в трактах передачи информации. Рассмотрим компактные множества состояний сложной системы с канальной структурой. Пусть ω_{ij} — элемент сечения входа системы, а ω_{ij}^* — элемент сечения выхода системы. Благодаря матричным формам изображения, поступающие на поверхность входа сложной системы с канальной структурой изображения, формируемые на поверхностях выхода, являются растровыми, состоящими

из множества фрагментов. Поэтому матрицу W определим как входной растр изображения, а матрицу W^* — как выходной растр.

Метод моделирования стохастических процессов посредством преобразования первичных изображений основан на следующих принципах:

1) преобразование первичной информации на входной поверхности в растровую структуру входа W ;

2) введение в передающий тракт элементарных каналов системы произвольных искажений, нарушающих регулярность положения координат элементов ω_{ij} относительно элементов ω_{ij}^* ;

3) формирование на выходной поверхности растровой структуры выхода W^* преобразованной информации.

При наличии комбинаторной нерегулярности нарушается правильность взаимных положений элементов ω_{ij}^* относительно ω_{ij} на выходной поверхности. При перемещении источника первичной информации на входной поверхности последовательно «засвечиваются» элементы ω_{2-1} , ω_{2-2} , ω_{2-3} поверхности, а на выходной поверхности формируется другая последовательность ω_{2-1}^* , ω_{1-3}^* , ω_{3-3}^* , отличная от прямолинейной траектории. Увеличение числа элементов ω_{ij} в растрах W приводит к усложнению преобразований. Если на время остановить движение раstra на входе, то на приемной поверхности сформируются несколько изображений. Они составляют упорядоченное множество Ω_1 , которое описывается как эталонное, например, в виде семантического фрейма, который является по отношению к преобразованной семантике Ω_2 подсистемой. Для этого случая преобразования информации в модели можно рассматривать как некоторые отношения между подсистемой Ω_2 и надсистемой Ω_1 , осуществляющие операции преобразования свойств.

После преобразования изображение на выходной поверхности системы представляет собой объединение неупорядоченных подмножеств разноокрашенных абстрактных фигур, степень непохожести которых по сравнению с эталонным изображением определяется количеством искажений в СК.

При неподвижном положении изображения на входе прямоугольная матрица R_c определяет вероятности перехода состояния. При этом прямоугольная матрица $R_c \subset R^{\infty}$ выбирается из прямоугольной бесконечной матрицы, над которой могут быть произведены линейные преобразования. Наибольший интерес для моделирования вызывает обратная задача распознавания искаженной информации при наличии эталонного первичного изображения и матрицы R_c .

Для формализации процесса преобразования изображений рассмотрим структуру растровых фрагментов первичных и преобразованных изо-

бражений с позиции теории множеств. При компактном объединении ω_{ij} (ω_{ij}^*) элементарных каналов образуются два типа размещения их поперечных сечений на входной или выходной поверхностях системы. Первый тип называется гексагональным. Зона плоскости между тремя соседними сечениями ω_{ij} не пропускает целевой продукт и эти зоны обозначим как ϕ_i . Второй тип размещения сечений на плоскости называется послойным или ленточным.

Пустые зоны ψ_i образуются при объединении четырех соседних сечений ω_{ij} . В этих терминах входной и выходной растры представляются объединением базовых элементов W , пропускающих поток целевого продукта (информации), и пустых (нулевых) элементов. Свойства множеств характеризуют их как топологическое хаусдорфово пространство (A, T) с дискретной топологией T . В дальнейшем все перестановки отдельных элементов ω_{ij} и ω_{ij}^* или подмножеств из этих элементов не изменяют топологии пространства (A, T) и могут считаться топологически подобными. Задание топологии дает возможность в дальнейшем определить основные типы комбинаторных и топологических преобразований между множествами W и W^* . Теоретико-множественный подход дает возможность при изучении моделей стохастических процессов определить все множества семантик, описывающих потоки исходной информации.

Рассмотрим применение предложенного метода для создания модели преобразований информации в системе. Перестановки $\{A_{ij}\} \leftrightarrow \{B_{kl}\}$ гомеоморфизмов определим как оператор K_3 преобразований. Рассмотрим модель преобразования информации в виде отображения пробразов входа на поверхности выхода сложной системы с канальной структурой. Поверхность выхода модели может рассматриваться, как фазовая, состоящая

из шести гомеоморфизмов $\langle B \rangle = \bigcup_{r=1}^6 \{B_r\}$, вложенных друг в друга в виде кольцеобразных фигур $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$.

Вход модели представляет собой объединение последовательно расположенных гомеоморфизмов

$\langle AQ \rangle = \bigcup_{r=1}^q [A]_r$, которые сканируются полуплоскостью. Гомеоморфизмы на входе и выходе обладают следующими свойствами, выраженными в следующих утверждениях.

Утверждение 1. Каждый гомеоморфизм на входе $[A_i] \in \langle AQ \rangle$ и сопряженный ему гомеоморфизм на выходе $[B_k] \in \langle BQ \rangle$ имеют собственные локальные системы координат

$$[(a_{0i}, a_{j0} : \forall i, j = 1, 2, \dots); (b_{0l}, b_{k0} : \forall k, l = 1, 2, \dots)]_{A, B_k}. \quad (10)$$

Утверждение 2. Каждый гомеоморфизм входа относительно своего сопряженного гомеоморфизма на выходе $[A]_i \leftrightarrow [B]_k$ имеет свою систему отношений $[a_{ij} \leftrightarrow b_{kl}]_{A_i}$.

Утверждение 3. Каждый из системных каналов $[A]_i \leftrightarrow [B]_k$, образованный системой отношений $[a_{ij} \leftrightarrow b_{kl}]_{A_i}$, имеет свою комбинацию комбинаторных подстановок, которая определяется соответствующей матрицей.

С учетом операторов преобразований K_1 и K_2 , модель преобразований элементарных каналов системного канала сложной системы может быть представлена в виде системы

$$\left\{ \begin{array}{l} K_2 : \{A\}_p \equiv \bigcup_i^m (a_i)_p \leftrightarrow ([\Omega][\Delta])_p \forall (a_i) \leftrightarrow (b_i) \\ \bigcup_{p=1}^M \{A\}_p \xrightarrow{T, K_1} \bigcup_{p=1}^M \{B'\}_p, \end{array} \right. \quad (11)$$

где K_2 — оператор комбинаторных перестановок внутри каждого из гомеоморфизмов $\{B'\}_p$, образующих системный канал; K_1 — оператор комбинаторных перестановок самих гомеоморфизмов внутри системного канала (оператор преобразований информации входной информации); $[\Omega]$, $[\Delta]$ — топологические структуры дискретных элементов выхода, предикаты которых равны «1» и «0» соответственно. Полученная модель искажений используется для когнитивной визуализации параметров сложной системы путем формирования специальных образов, воздействующих на психофизиологическое состояние человека-оператора и предотвращающих развитие стресса монотонии у операторов.

7. Применение алгебры нештатных ситуаций

Рассмотрим применение алгебры нештатных ситуаций для идентификации НС. Каждый системный канал системы имеет конечное число образующих его элементарных каналов, что на входе и выходе образует структуру фиксированных и упорядоченных элементов. Упорядоченность взаимных положений элементов a_{kl} , b_{ij} определяется декартовым произведением пар чисел $(k \times l)$, $(i \times j)$ относительно локальных систем координат.

Зададим локальную систему координат для матрицы A в виде ортогональных осей a_{ij} (для всех $i=1,2,\dots,n$) и a_{j1} (для всех $j=1,2,\dots,m$) с началом координат в элементе a_{11} . Соответственно для матрицы B координатные оси будут b_{ji} (для всех $i=1,2,\dots,n$) и b_{kl} (для всех $j=1,2,\dots,m$) с началом координат в b_{11} .

Прообраз входной информации представим как функцию новых координат a_{kl} , соотнесенных с собственной локальной системой:

$$F'(x, y) \supset f_{kl}(x, y) \equiv f'(w_{kl}) \equiv f'(a_{kl}) \in (A),$$

$$K_1 : F(x, y) \approx F'(x, y) \equiv \bigcup_{a_{kl} \in A} f(a_{kl}). \quad (12)$$

Представим прообраз в виде системы конечных предикатов $(a_{ij}^{f_{ij}})$ с элементами разложения по строке исходной системы координат:

$$F'_A(x, y) = \bigcup_{i=1}^m (a_{i1}^{f'_{i1}} \vee a_{i2}^{f'_{i2}} \vee \dots \vee a_{in}^{f'_{in}}). \quad (13)$$

Аналогично для разложения по столбцам в этой же системе координат

$$F'_A(x, y) = \bigcup_{j=1}^n (a_{1j}^{f'_{1j}} \vee a_{2j}^{f'_{2j}} \vee \dots \vee a_{nj}^{f'_{nj}}). \quad (14)$$

Введем предикат $P(f_{ij}) = (a_{ij}^{f_{ij}})$ узнавания нарушения регулярности переменной f_{ij} , заданной по константе a_{ij} . При выполнении условия совпадения координат (i, j) положений переменной и константы в матрице получим предикат

$$P(f_{ij}) = (a_{ij}^{f_{ij}}) = 1, \quad \forall (f_{ij}) \in F(x, y). \quad (15)$$

При расхождении координат переменной f_{kl} с константой a_{ij} получим предикат

$$P(f_{kl}) = (a_{ij}^{f_{kl}}) = 0, \quad \forall (f_{kl}) \in F(x, y). \quad (16)$$

Определим области существования предикатов (15) и (16) как

$$\exists f_{ij} P(f_{ij}) = \bigvee_{(f_{ij}) \in M^2} * P(f_{ij}). \quad (17)$$

Тогда для любого СК выполняется условие фиксации элементов a_{ij} на A и всегда выполняется условие (15). Тогда областью существования систем предикатов для входа будет вся матрица единичных элементов:

$$\exists_{(A)} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Утверждение 4. Фиксация $a_{ij} \in A$, а также (17) и (18) позволяют сделать вывод о том, что само множество A является инвариантной системой предикатов, которое не изменяется во время линейных преобразований относительно базовой системы координат.

Для входа A всегда выполняется условие (15) и областью существования любой $F(x, y)$, заданной

на области $M^2 = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} \right]$, является вся матрица A .

Это объясняется тем, что при любых аффинных преобразованиях локальной системы или базовой системы координат эти системы с точностью до элемента могут быть соединены между собою без нарушения упорядоченности. Покажем, что правило инвариантности системы входа выполняется всегда. Для этого выберем теперь в качестве входа множество B в локальной системе координат и на нем будем отображать исходную информацию $F(x, y)$. Прообраз $F_B'(x, y)$ разложим построчно на дискретные элементы из конечных предикатов:

$$F(x, y) \approx F_B'(x, y) = \bigcup_{i=1}^m (b_{i1}^{f'_{i1}} \vee b_{i2}^{f'_{i2}} \vee \dots \vee b_{in}^{f'_{in}}). \quad (19)$$

Аналогично для условия совпадения координат (i, j) элементов предиката узнавания

$$P(f'_{ij}) = (b_{ij}^{f'_{ij}}) = 1, \quad (20)$$

при расхождении координат $(i, j) \neq (k, l)$

$$P(f'_{ij}) = (b_{kl}^{f'_{ij}}) = 0. \quad (21)$$

Квантор существования для предикатов (19) имеет вид

$$\exists f'_{ij}. P(f'_{ij}) = \bigvee_{(f'_{ij}) \in M^2} P(f'_{ij}). \quad (22)$$

В логическом пространстве прообраз $F'(x, y)$ может быть представлен в виде

$$F_B'(x, y) = \bigvee_{(f'_{ij}) \in M^2} (b_{kl}^{f'_{ij}}).$$

Переменная f'_{kl} покоординатно совпадает с константами b_{kl} .

Утверждение 5. Областью существования систем предикатов на множестве B также будет вся область M^2 на основании (3.31). Если матрица B выбрана в качестве входа, то

$$\exists_{(B)} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}, \quad (24)$$

т. е. матрица B является инвариантом.

Рассмотрим оператор K_2 передачи фрагментов прообразов информации со входа A на выход B :

$$\begin{aligned} \bigcup_{i,j \in M(A)} f'_{ij}(x, y) &\rightarrow \bigcup_{k,l \in M(B)} f^*_{kl}(x, y) \approx \\ &\approx \bigcup_{i,j \in M(A)} f'(w_{ij}) \rightarrow \bigcup_{k,l \in M(B)} f^*(w_{kl}). \end{aligned} \quad (25)$$

Утверждение 6. Если на всем пространстве M^2 для элементов $a_{ij} \in A$ и $b_{kl} \in B$ выполняются соот-

ветственно условия (15) и (20), то оператор K_2 не выполняет условия упорядоченности при передаче фрагмента информации из информационных каналов w_{ij} .

С учетом принципа сопряженности выражение (23) может быть представлено в виде

$$\bigcup_{i,j \in M(A)^2} f'(w_{ij}) \xleftrightarrow{K_2} \bigcup_{K_2^{-1} k, l \in M(B)^2} f^*(w_{kl}), \quad (26)$$

при этом $K_2^{-1} \times K_2 = 1$.

Определим отношения между элементами входа-выхода при условии, что при преобразовании K_2 происходит нарушение упорядоченности соединенных элементов. Можно утверждать, что локальные системы координат неэквивалентны друг другу и не могут быть соединены с помощью аффинных преобразований.

Таким образом, в системе передачи информации в СК существуют преобразования перестановок, а квантор существования (22) будет составлен из конечного числа единиц и нулей. На основе принципов информационной независимости и сопряженности представим отношение между входом и выходом в виде:

$$K_2 : (A) \rightarrow (B) \quad K_2^{-1} : (A) \leftarrow (B), \quad (27)$$

$$(k_{ij}) \in K_2 : (a_{ij}) \leftrightarrow (b_{ij}) \Rightarrow a_{ij}^{f_{ij}} \leftrightarrow b_{ij}^{f_{ij}}. \quad (28)$$

Рассмотрим предикатную переменную $P(b_{ij}) = a_{ij}^{b_{ij}}$ соответствия условию регулярности, которая логически связывает между собою элементы входа с соединенными с ними элементами выхода. При этом совпадение координатных пар чисел (i, j) определяет равенство предиката единице

$$P(b_{ij}) = 1, \quad (29)$$

а при расхождении $(i, j) \neq (k, l)$ – равенство нулю

$$P(b_{ij}) = 0. \quad (30)$$

Матрица предикатных переменных определяет взаимное соответствие (или несоответствие) элементов входа-выхода:

$$[P(b_{ij})] = \begin{bmatrix} P(b_{11}) & P(b_{12}) & \dots & P(b_{1n}) \\ P(b_{21}) & P(b_{22}) & \dots & P(b_{2n}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P(b_{m1}) & P(b_{m2}) & \dots & P(b_{mn}) \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Рассмотрим случай, когда все $P(f'_{ij}) = (b_{ij}^{f'_{ij}}) = 1$. Согласно принципа сопряженности между соот-

ветствующими элементами входа-выхода получаем две эквивалентных системы конечных предикатов при условии совпадения их локальных систем координат:

$$\bigcup_{i=1}^m \left(\bigvee_{j=1}^n a_{ij}^{f_{ij}} \right) \approx \bigcup_{i=1}^m \left(\bigvee_{j=1}^n b_{ij}^{f_{ij}} \right). \quad (32)$$

Если для всех элементов входа-выхода СК выполняется указанное условие, то матрица (3.41) состоит из одних единиц, в этом случае получим модель СК, которая адекватно передает информацию со своего входа на выход. При этом сформированный образ с точностью до изоморфного элемента адекватен прообразу $F'(x, y) \approx F^*(x, y) \approx F(x, y)$.

Рассмотрим случай, когда все

$$P(f'_{ij}) = (b_{kl}^{f_{ij}}) = 0.$$

Из (27) получаем $a_{ij}^{f_{ij}} \leftrightarrow b_{kl}^{f_{ij}}$, при фиксированных в локальной системе координат константах a_{ij} и b_{kl} соответственно получаем, что для одного и того же фрагмента f_{ij} его локализации на входе и выходе разная. В системе координат b_{kl} (для всех $i=1, 2, \dots, n$) и b_{kl} (для всех $j=1, 2, \dots, m$) на B получим упорядоченное множество (3.41) нулевых элементов:

$$\exists b_{kl} P(b_{kl}) = \bigvee_{(b_{kl}) \in M^2} [P(b_{kl} \equiv 0)]. \quad (33)$$

Утверждение 7. Если для всех $(b_{kl}) \in B$ выполняется условие $P(f'_{ij}) = (b_{kl}^{f_{ij}}) = 0$, то матрица (31) содержит только нулевые элементы. Ни один из элементов, которые составляют предикатную переменную $(a_{ij}^{f_{ij}})$ входа и являются упорядоченными в локальной системе координат a_{ij} (для всех $i=1, 2, \dots, n$) и a_{ij} (для всех $j=1, 2, \dots, m$), не совпадает ни с одним из элементов выхода $(b_{kl}^{f_{ij}})$ в этой же системе.

На матрице B указанный фрагмент f'_{kl} на своем носителе b_{kl} может занять любое из положений. При этом для всех $b_{ij} = a_{ij}$ предикат $P(b_{ij}) = 1$ и соответствующие фрагменты прообразов и образов эквивалентны исходной информации:

$$f(x, y) \approx f'(a_{ij}) \equiv f^*(b_{ij}). \quad (34)$$

Для всех несовпадающих по координатно элементам $b_{kl} \neq a_{ij}$ соответствующий предикат $P(b_{kl}) = 0$, и между фрагментами прообразов-образов в системе координат a_{ij} (для всех $i=1, 2, \dots, n$) и a_{ij} (для всех $j=1, 2, \dots, m$) адекватность будет доказана:

$$f(x, y) \approx f'(a_{ij}) \neq f^*(b_{kl}). \quad (35)$$

В общем виде область существования системы предикатов (19) будет иметь вид

$$\exists b_{ij} P(b_{ij}) = \bigvee_{(b_{ij}) \in M^2} P(b_{ij}) = \bigvee_{(b_{ij}) \in M^2} \left[\begin{matrix} P(b_{ij}) \equiv 1 \\ P(b_{kl}) \equiv 0 \end{matrix} \right], \quad (36)$$

а логическая матрица, которая характеризует квантор существования предикатов, будет состоять из некоторого числа единиц и нулей, которые занимают соответствующие позиции в матрице (24). Как логическая матрица (18), обусловленная квантором существования (17), так и область существования (36) определяет инвариантность матрицы

$$\exists_{(B)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (37)$$

Выражения (36) и (37) являются преобразованиями подстановок. При дальнейшем анализе свойств преобразований подстановок будем пользоваться свойством инвариантности указанных матриц.

Рассмотрим формальную модель искажений в системном канале для случаев статической и динамически изменяющейся информации. Для динамически изменяющейся информации получаем вариант стохастического процесса. Сформируем проективным способом первичную информацию $F(X, Y)$ на поверхности входа A . В соответствии с принятым ранее допущением, что указанная поверхность является растром, на ней происходит преобразование информации во множество дискретных, упорядоченно расположенных фрагментов f_{ij} , заданных на носителях $a_{ij} \in A$. По определению на A формируется растровое подобие $F_1(X, Y)$.

После комбинаторной кодировки $F_1(X, Y)$ на поверхности B формируется закодированная информация $F^*(X, Y)$ в виде

$$F^*(xy) = \bigcup_{(kl) \in M} f_{kl}^*. \quad (38)$$

Между $F_1(X, Y)$ и $F^*(X, Y)$ существуют определенные отношения, которые могут быть заданы в форме таблицы отношений $(a_{11}^{bij}, a_{12}^{bke}, \dots, a_{mn}^{bps})$, $(a_{11}^{bij}, a_{12}^{bpn}, \dots, a_{ij}^{bps})$ с сохранением принципа взаимной однозначности. Запишем первичный растровый образ информации в виде системы

$$F_1(X, Y) = \bigcup_{i=1}^m (a_{i1}^{f1} \vee a_{i2}^{f2} \vee \dots \vee a_{in}^{fn}) \quad (39)$$

с элементами разложения по строке. Аналогичная запись может быть представлена и для разложения по столбцам базисных координат

$$F_1(X, Y) = \bigcup_{i=1}^m (a_{1j}^{f1j} \vee a_{2j}^{f2j} \vee \dots \vee a_{mj}^{fmj}). \quad (40)$$

При фиксированном положении ($a_{ij} \in \{A\}$) фиксируется также фрагмент (f_{ij}) в границах области метрического пространства

$$M^2 = \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij} \right]. \quad (41)$$

Введем предикат узнавания регулярности переменной (f_{ij}), заданной по константе (a_{ij}). Определим, что при условии совпадения координат положения (i, j) предикат

$$P(f_{ij}) = (a_{ij}^{f_{ij}}) = 1.$$

Для (f_{ij}) $\in F_1(X, Y) \subset M^2$ с несовпадающими координатами (kl) и (ij) предикат

$$P(f_{kl}) = (a_{ij}^{f_{kl}}) = 0. \quad (43)$$

Определим теперь область существования предикатных уравнений (39) или (40), используя квантор существования (17). Как было показано выше, при фиксации элементов $a_{ij} \in A$ выполняется условие (42). Тогда (17) выполняется всюду на A .

Утверждение 8. Областью существования систем предикатов для растровой поверхности A будет являться вся область M^2 и квантор существования (18). Операция квантирования позволяет абстрагироваться от реальных изменений информации $F(X, Y)$ переводом ее фрагментов f_{ij} , из метрического в логическое пространство. Это заметно упрощает процесс исследований областей квантирования преобразованных систем предикатов $P(f_{kl})$. Аналогичные выводы относятся и к растровой структуре B . Рассмотрим систему

$$F^*(X, Y) = \bigcup_{k=1}^m \left(\bigcup_{l=1}^n V^* b_{kl}^{f_{kl}} \right). \quad (44)$$

Заметим, что формирование кодированного изображения на B осуществляется в локальной системе координат, заданной в третьем разделе, т. е. при замене направления кодировки входной системой будет становиться поверхность B . Инвариантность систем (39), (40) и (44) является математическим подтверждением того, что возможна и задача декодирования информации $f_{ij} \in F^*(X, Y)$ в исходную $f_{ij} \in F_1(X, Y)$.

Искажение информации в СК осуществляется за счет операторов комбинаторной перестановки элементов приемного A в сопряженные им элементы выходного растра B

$$a_{ij} \leftrightarrow b_{kl}. \quad (45)$$

Операторы K_{kl} являются сопряженными

$$K_{kl} = \overline{K_{ij}}. \quad (46)$$

Составим матрицу узнавания регулярности

$$[a_{kl}^{b_{kl}}] = \begin{pmatrix} a_{11}^{b_{11}} & a_{12}^{b_{11}} & \dots & a_{1n}^{b_{11}} \\ a_{21}^{b_{12}} & a_{22}^{b_{12}} & \dots & a_{2n}^{b_{12}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}^{b_{m1}} & \dots & \dots & a_{mn}^{b_{m1}} \end{pmatrix}. \quad (47)$$

Рассмотрим случай, когда все $P(b_{kl})=1$, что соответствует отсутствию процесса возникновения нештатной ситуации. Согласно свойства сопряженности между соответствующими элементами входа-выхода получаем две эквивалентные растровые системы, соответствующие (32). Случаю, когда все $P(b_{kl})=0$ на поверхности B , соответствует (33). Для исследования нас будут интересовать случаи, когда значения предикатов

$$\begin{cases} P(b_{ij})=1 & \text{для всех } b_{ij}=a_{ij} \\ P(b_{kl})=0 & \text{для всех } b_{kl} \neq a_{kl} \end{cases}. \quad (48)$$

Тогда область существования системы предикатов (48):

$$\exists b_{ij} P(b_{ij}) = \bigvee_{(b_{ij}) \in M^2} P(b_{ij}) = \bigvee_{\substack{(b_{ij}) \in M^2 \\ (b_{ke}) \in M^2}} \left[\begin{matrix} P(b_{ij}) \equiv 1 \\ P(b_{ke}) \equiv 0 \end{matrix} \right] \quad (49)$$

и логическая матрица, характеризующая квантор существования предикатов, будет составлена из существующего числа бинарных позиций, занимающих соответствующие позиции в матрице

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (50)$$

При дальнейшей идентификации полностью игнорируются действительные положения фрагментов f_{kl} считая, что вероятность их размещения в области

$$\Omega_0 = \left[\bigcup_{(b_{ke}) \in M^2} P(b_{ke}) = 0 \right] \quad (51)$$

произвольная (например, равномерная).

Тогда область единичных предикатов образует множество

$$\Omega_1 = \left[\bigcup_{(b_{ij}) \in M^2} P(b_{ij}) = 1 \right]. \quad (52)$$

Матрицу (50) можно представить в виде объединения двух подмножеств (49) и (52)

$$\Omega = \Omega_0 \cup \Omega_1. \quad (53)$$

При этом множества Ω_1 характеризуют область неискаженных фрагментов информации (f_{ij}) относительно эквивалентных им (f_{ij}^*)

$$f_{ij} \sim f_{ij}^* \forall P(b_{ij}) \in \Omega_1. \quad (54)$$

Указанные фрагменты также являются инвариантными как для раstra *A*, так и для раstra *B* при любых линейных преобразованиях над ними.

8. Выводы

В результате проведенных исследований получено новое решение актуальной научной проблемы отображения многомерной динамической информации в виде интеллектуальных методов и средств визуализации нештатных ситуаций в сложных человеко-машинных системах с канальной структурой. Также получили дальнейшее развитие формальные модели преобразования информации в элементарных и системных каналах сложной системы при нештатных ситуациях на основе комбинаторных и топологических преобразований растровой двумерной информации входа системного канала, что дало возможность разработать методы моделирования нештатных ситуаций в системе. Обоснован метод визуализации нештатных ситуаций в сложной системе с канальной структурой, основанный на алгебре нештатных ситуаций и методах пороговой логики, которые используются для построения флукуационной капсулы визуализации параметров режимов системы.

Список литературы: 1. *Современные проблемы надежности систем энергетики: модели, рыночные отношения, управление реконструкцией и развитием* / Манов Н.А., Сеннова Е.В., Сухарев М.Г. и др. — М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2000. — 374 с. 2. *Бондаренко М.В., Ерохин А.Л.* Про моделі позаштатної поведінки інтелектуальних систем // Проблеми біоніки. Вип. 60. 2004. — С. 7–16. 3. *Ерохин А.Л., Бурцев В.Н.* Формалізація складноорганізованих систем і розпізнавання аварійних ситуацій. Сообщение 1 // Бионика интеллекта. №1(61). 2004. — С. 74–77. 4. *Ерохин А.Л., Бурцев В.Н.* Формалізація складноорганізованих систем і розпізнавання аварійних ситуацій. Сообщение 2 // Бионика интеллекта. № 1(62). 2005. — С. 15–18. 5. *Шабанов-Кушнаренко Ю.П.* Теория интеллекта. Математические средства. — Харьков: Вища школа, 1987. — 159 с. 6. *Шабанов-Кушнаренко Ю.П.* Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. — Харьков: Вища школа, 1984. — 142 с. 7. *Шабанов-Кушнаренко Ю.П.* Теория интеллекта. Технические средства. — Харьков: Вища школа, 1986. — 136 с. 8. *Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко С.Ю.* Теория цветового зрения: Монография. — Харьков: ХНУРЭ, 2002. — 208 с. 9. *Дертоузос М.* Пороговая логика: Пер. с англ. — М.: Мир, 1967. — 342 с. 10. *Айзенберг Н.Н., Иваськив Ю.Л.* Многозначная пороговая логика. — К.: Наукова думка, 1977. — 148 с.

Поступила в редколлегию 02.11.2005

С.П. Тимофеев

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ТРАНСЛЯЦИИ СХЕМАМИ XML (с приложением к компьютерной лингвистике)

1. Постановка задачи

Схема трансляции — это формализм, используемый для задания трансляции, определяемой как отображение между одним (входным) и другим (выходным) формальным языком. Трансляция может быть также определена как отображение между деревьями разбора входной и выходной формальной грамматики. Схемы трансляции делятся на *синтаксически управляемые (СУ-схемы)* и *обобщенные (общего вида)*. Первые являются полностью декларативными описаниями и представляют собой две взаимосвязанные контекстно-свободные грамматики (КСГ); вторые являются частично процедурными и представляют собой входную КСГ, дополненную элементами трансляции (*семантическими процедурами*). СУ-схемы описывают достаточно узкий, хотя и часто встречающийся класс трансляций; с помощью обобщенных схем можно описать трансляции произвольной сложности. Схемы трансляции используются в средствах автоматизации разработки трансляторов — генераторах трансляторов, называемых также компиляторами компиляторов, генераторами синтаксических анализаторов [1, 2, 3, 4].

Схема XML — это описание некоторого класса документов XML, называемых состоятельными по отношению к данной схеме. Описание имеет вид вариантной структуры общего элемента этого класса. Известно, что схему XML можно рассматривать как записанную в особой нотации формальную грамматику, задающую формальный язык, цепочками которого являются состоятельные документы XML [5, 6].

Технология XML обладает и другими полезными для нашей задачи средствами:

- абстрактная модель данных XML Infoset [7] определяет универсум древовидных структур различной конфигурации (деревьев XML);

- язык XML определяет де-факто стандартное линейное представление древовидных структур в виде документов XML [8];

- программные средства технологии XML обеспечивают разнообразные операции манипулирования и визуализации для деревьев и схем XML [9, 10].

Известно, что построение трансляторов весьма трудоемко и принадлежит наивысшей сфере искусства программирования [4]. В связи с развитием средств общения человека с компьютером на естественном языке (точнее, на формализованных подмножествах ЕЯ), является актуальной проблема

упрощения и ускорения разработки трансляторов [11, 12]. Примером служит актуальная задача компьютерной лексикографии — трансляция традиционных словарей в лексикографические БД [13, 14, 15]. Настоящая работа возникла в результате анализа именно этой задачи.

Другой актуальной задачей, требующей создания трансляторов, является *задача преобразования документов произвольного формата в документы XML* [15]. Перевод всех документов, находящихся в Сети, на XML — необходимое условие повышения точности поиска. В связи с этим заметим, что технология XML находится еще в стадии становления и далеко не все ее задачи, например, рассматриваемая, решены. Также важно заметить, что указанная выше лексикографическая задача может рассматриваться как частный случай этой задачи технологии XML.

Применительно к названным задачам, которые будем называть *целевыми*, мы обнаружили *пять недостатков* традиционных схем трансляции.

1. Выходная грамматика в обобщенных схемах трансляции определяется *неявно*, что не соответствует обычной логике разработки словаря *от содержания к форме* [12]. Аналогично, в технологии XML документ XML, представляющий некоторое информационное содержание, первичен, а его различные *презентации* вторичны.

2. *Линейный формат*. Известно, что как только задачу удастся переложить на графовый язык и к тому же перейти к визуальному проектированию, трудоемкость решения резко снижается.

3. Нет встроенных средств манипулирования *деревьями разбора*.

4. Нет встроенных средств *диалоговой трансляции*. Данная возможность и не требуется в трансляторах языков программирования, но бывает весьма полезно в задачах компьютерной лингвистики, когда не удается (или весьма трудоемко) полностью формализовать некоторое подмножество ЕЯ и приходится довольствоваться неоднозначной грамматикой.

5. Нет встроенных средств, обеспечивающих работу с *обогащенными текстами* (RTF, DOC и т. д.) на уровне шрифтовых атрибутов, и приходится работать с байтовым кодом.

Некоторые из затронутых проблем нашли свое частичное решение в следующих работах.

В работах [13, 14, 15] введены двухуровневые диалоговые грамматики и двухуровневые схемы XML в качестве средства описания структуры сло-

варной статьи, а также предложены принципы создания лексикографических БД на основе словарей. Настоящая работа представляет собой развитие идей, сформулированных в этих работах.

Задачами исследования являются:

- Выявление отличительных особенностей целевых задач с точки зрения трансляции, а также содержательное определение соответствующего класса трансляций.

- Разработка такого варианта организации схемы трансляции, который был бы лишен указанных недостатков применительно к задачам этого класса.

- Разработка концепции программной реализации соответствующих трансляторов.

- Демонстрация выдвинутых предложений на простом примере из области компьютерной лексикографии.

2. Предлагаемые принципиальные решения

2.1. Для поддержки логики проектирования словарей и других документов «от содержания к форме» предлагается аппарат *обратных схем трансляции*, представляющих собой *выходную* грамматику, дополненную элементами трансляции. Традиционные схемы трансляции в данном контексте естественно назвать *прямыми схемами*. Существенным здесь является интерпретация выходной грамматики как *исчисления деревьев*, а не цепочек (что более адекватно в области лингвистики [16]), причем деревья порождения выходной грамматики отождествляются с деревьями содержательной структуры входного текста. Такое решение позволяет в ряде случаев не вводить операции конструирования выходного дерева — оно будет формироваться *по умолчанию* транслятором; в остальных случаях потребуются операции только для некоторых поддеревьев.

2.2. Для перехода к графовому представлению схем трансляции (как прямых, так и обратных) предлагается использовать определенным образом организованные схемы XML, названные нами *XML-схемами трансляции*. Идея заключается в том, чтобы рассматривать схемы XML как представления *произвольных* формальных грамматик, безотносительно к документам XML. Такая интерпретация связана с упомянутой выше трактовкой формальных грамматик как исчислений деревьев. Элементы трансляции записываются в качестве значений особых атрибутов и, возможно, элементов схемы XML. Визуальное проектирование XML-схем трансляции выполняется посредством редакторов XML (мы предпочли XMLSpy [10]).

2.3. Для представления деревьев разбора предлагается использовать *деревья XML*, причем:

- в случае трансляции общего вида использовать *DOM-интерфейс*, обеспечивающий операции произвольного манипулирования деревьями [9];

- для важного класса L-атрибутных трансляций [1], не требующих явного построения входного дерева разбора и выполняемых за один проход в процессе восходящего синтаксического анализа, можно ограничиться *линейным* представлением выходного дерева в виде документа XML, что максимально упрощает реализацию.

2.4. Принципы организации диалоговой трансляции описаны нами в [14]. Введенные в этой работе *фразы описания диалога* предлагаем представлять в составе XML-схем трансляции особыми атрибутами и элементами.

Предлагаем также новый метод трансляции для случая неоднозначной входной грамматики, не требующий специальных средств для организации диалога — *метод уточняющих пометок*, суть которого в следующем. Неоднозначная грамматика предварительно превращается в *однозначную* путем вставки дополнительных символов либо замены вхождений каждого неоднозначно интерпретируемого символа на некоторый новый символ, соответствующий контексту. В приводимом далее примере запятая в смысле «разделитель элементов словарной статьи» заменяется на «||», а в смысле «знак препинания внутри элемента словарной статьи» — на «,|». В процессе трансляции по уточненной грамматике, при обнаружении любой запятой во входном тексте будет возникать синтаксическая ошибка и эксперт должен будет приписать к запятой одну или две вертикальные черточки, в зависимости от контекста, смысл которого программа самостоятельно определить не может. Таким образом, «проблемный» диалог приобретает форму диалога корректировки синтаксических ошибок и может быть реализован стандартными средствами генераторов трансляторов.

2.5. Для трансляции обогащенных текстов предлагаем два метода:

- Предварительное конвертирование входного текста в простое *подмножество HTML* (без тегов *meta* и с фиксированным порядком вложенности тегов, определяющих атрибуты шрифта), после чего осуществляется трансляция простого (необогатенного) текста.

- Разрабатывается программа особого *лексического анализатора*, чувствительного к *шрифтовым атрибутам*. Для каждой используемой их комбинации программа выдает отдельный вариант токена (например, *RusWord_bold_italic* — русская словоформа, набранная полужирным курсивом). Данный вариант более трудоемок в реализации, но более удобен в использовании.

Более подробно пункты 4 и 5 предполагается раскрыть в отдельной статье.

3. Используемые термины и обозначения

Термином *грамматика* будем обозначать некоторую КСГ, т.е. четверку:

$$G = (\Sigma, N, Z, P),$$

где Σ — множество терминальных символов (алфавит языка); Z — начальный символ, $Z \in N$; N — множество нетерминальных символов; P — множество правил вывода, в которых допускаем регулярные выражения.

Примечание. Регулярные выражения необходимы, чтобы деревья разбора грамматики могли иметь произвольную конфигурацию и напрямую соответствовали деревьям содержательной структуры. Грамматики с простыми правилами (продукциями), используемые в генераторах трансляторов семейства Ясс [1], этому условию не удовлетворяют.

$L(G)$ — (формальный) язык, задаваемый грамматикой G .

$T(G)$ — множество деревьев разбора (порождения), задаваемое грамматикой G .

$G|A$ — проекция грамматики G на нетерминал A , т.е. грамматика, получаемая из G путем назначения нетерминала A стартовым символом и удаления всех символов и правил, не зависящих, прямо или косвенно, от A .

$T^{XML}(G|A)$ — представление деревьев $T(G|A)$ в линейном виде — в виде множества элементов XML.

G_1, G_2 — входная и выходная грамматики. Соответствующими индексами помечаются компоненты обеих грамматик. Деревья разбора входной грамматики $T(G_1)$ будем называть *деревьями поверхностной структуры*, а деревья порождения выходной грамматики $T(G_2)$ — *деревьями содержательной структуры*.

Функция трансляции:

$$\tau: L(G_1) \rightarrow T(G_2).$$

Примечание. Выбранный нами вариант определения типа функции трансляции соответствует исследуемому классу трансляций. Множество $T(G_2)$ естественно назвать выходным *древесным формальным языком*, учитывая тенденцию к максимально широкой трактовке термина «язык» [12]. Заметим, что в работах по семантике схем XML [17] под древесным языком понимается иная математическая структура.

СУ-схема трансляции — это пятерка:

$$S^0 = (\Sigma_1, \Sigma_2, N, Z, P^0),$$

где Σ_1, Σ_2, N, Z — определены выше; P^0 — множество правил трансляции вида:

$$A \rightarrow \alpha, \beta,$$

где $\alpha \in (N \cup \Sigma_1)^*$, $\beta \in (N \cup \Sigma_2)^*$,

причем вхождения нетерминалов в цепочку β образуют перестановку вхождений нетерминалов в цепочку α .

СУ-схема называется *простой*, если сохраняется порядок вхождений нетерминалов.

Схему трансляции *общего вида* можно определить как пару:

$$S = (G_1, E_1),$$

где E_1 — множество элементов трансляции совместно с соответствием между ними и вхождениями грамматических символов в правилах (вместо задания соответствия можно доопределить структуру правил грамматики). Заметим, что контекстные ограничения неявно контролируются элементами трансляции с использованием побочного эффекта: в случае их нарушения генерируется сообщение об ошибке. В рамках атрибутивных трансляций, элементы трансляции рассматриваются как вызовы функций вычисления синтезируемых и наследуемых атрибутов [1]. Синтезируемый атрибут, ассоциированный с начальным символом грамматики, представляет выход транслятора; в наших целевых задачах это дерево содержательной структуры.

Токены (называемые также не совсем корректно лексемами) — это терминальные символы уровня синтаксического анализа. Лексические значения всех токенов в наших примерах имеют строковый тип [1].

4. Пример из компьютерной лексикографии

Рассмотрим трансляцию в документ XML фрагмента словаря [18] в составе трех специально подобранных словарных статей:

- (1) **asg, asgn** см. **assign**
- (2) **first-in, first-out** в порядке поступления, 'первым пришёл — первым вышел'
- (3) **code-dependent system** система, зависящая от данных, кодовзависимая система. См. **code-sensitive system**

Рис. 1. Фрагмент словаря

Соответствующая этому фрагменту упрощенная структура словаря может быть описана следующим образом.

Корпус словаря (Dic) представляет собой последовательность словарных статей (Entry), оформленных в виде абзацев и упорядоченных по алфавиту. Заглавный термин (Term) выделен полужирным шрифтом. В статье может быть несколько заглавных терминов, если они расположены рядом в порядке алфавита и имеют идентичное описание. Правая часть статьи имеет два варианта структуры. Первый вариант: отсылка на развернутый термин (RefFull). Второй вариант: набор переводных эквивалентов (Tran), разделяемых запятыми, и необязательная отсылка на синоним (RefSyn). Переводные эквиваленты набираются обычным шрифтом. Отсылочные пометы выделяются курсивом: «см.» (на разверну-

тый термин) и «См.» (на синоним). Второстепенные детали типографского оформления мы опустим.

На рис. 3 и 4 изображены грамматики G_1 и G_2 , соответствующие вышеприведенному описанию.

На рис. 5 изображено дерево содержательной структуры для фрагмента словаря и представляющий это дерево документ XML. Дерево поверхностной структуры приведено в [13].

Принципиальную роль играет предлагаемая нами *модифицированная нотация*, в которой записаны грамматики: содержательные токены выделены полужирным шрифтом, а формирующие — подчеркнуты. Благодаря такой нотации, выходная грамматика может быть получена *автоматически* из входной путем удаления формирующих токенов и последующего упрощения регулярных выражений. Несложно увидеть, что входная грамматика в модифицированной нотации оказывается *представлением простой СУ-схемы трансляции*, описывающей преобразование фрагмента словаря в документ XML. На рис. 6 представлен фрагмент эквивалентной схемы трансляции в нотации Yacc, который генерирует программу транслятора на языке C. Результат трансляции заносится в глобальную строковую переменную Out. Из-за недопустимос-

ти регулярных выражений приходится вводить дополнительные нетерминалы, а ввиду отсутствия подразумеваемого определения выходной грамматики, в элементы трансляции вставляются операции конструирования линейного представления выходного дерева в форме документа XML.

Отметим, что входная грамматика *неоднозначная*, т.к. запятая, в зависимости от контекста, обозначает либо разделитель элементов словарной статьи, либо знак препинания внутри одного элемента. В схеме трансляции для Yacc мы использовали метод уточняющих пометок, однако более комфортным для эксперта является *диалоговая* трансляция, экран диалога будет иметь вид:

Укажите смысл запятой:

- Разделитель элементов словарной статьи
- Знак препинания внутри одного элемента

Рис. 2. Уточняющий диалог

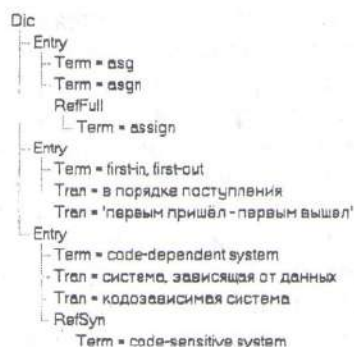
В соответствии с выбором эксперта, транслятор будет использовать нужное правило грамматики для обработки запятой.

Правила синтаксического уровня	
Dic	→ [Entry (EOL Entry)*] [EOL]
Entry	→ Term (',' Term)* (RefFull Tran (',' Tran)* ['.' RefSyn])
RefFull	→ <u>NoteFull</u> Term
RefSyn	→ <u>NoteSyn</u> Term
Правила лексического уровня	
Term	→ EngWord-bold ([','] EngWord-bold)*
Tran	→ ["'"] RusWord-bold ([',' ' - '] RusWord-bold)* ["'"]
<u>EOL</u>	→ <Конец абзаца: #D#\$A>
<u>NoteFull</u>	→ <Строка 'см.', набранная курсивом>
<u>NoteSyn</u>	→ <Строка 'См.', набранная курсивом>
EngWord-bold	→ <Английское слово, набранное полужирным шрифтом: EngChar* ['-' EngChar*] >
RusWord-bold	→ <Русское слово, набранное полужирным шрифтом: RusChar* ['-' RusChar*] >

Рис. 3. Входная грамматика для фрагмента словаря в модифицированной нотации

Правила синтаксического уровня	
Dic	→ Entry*
Entry	→ Term * (RefFull Tran* [RefSyn])
RefFull	→ Term
RefSyn	→ Term
Правила лексического уровня	
Term	→ EngWord-bold ([','] EngWord-bold)*
Tran	→ ["'"] RusWord-bold ([',' ' - '] RusWord-bold)* ["'"]
EngWord-bold	→ <Английское слово, набранное полужирным шрифтом: EngChar* ['-' EngChar*] >
RusWord-bold	→ <Русское слово, набранное полужирным шрифтом: RusChar* ['-' RusChar*] >

Рис. 4. Выходная грамматика для фрагмента словаря в модифицированной нотации



```
<?xml version="1.0" encoding="Windows-1251"?>
<Dic>
  <Entry><Term>asg</Term><Term>asgn</Term>
  <RefFull><Term>assign</Term></RefFull></Entry>
  <Entry><Term>first-in, first-out</Term><Tran>в порядке
  поступления</Tran><Tran>'первым пришёл - первым
  вышел'</Tran></Entry>
  <Entry><Term>code-dependent
  system</Term><Tran>система, зависящая от
  данных</Tran><Tran>кодзависимая
  система</Tran><RefSyn><Term>code-sensitive
  system</Term></RefSyn></Entry>
</Dic>
```

Рис. 5. Дерево содержательной структуры для фрагмента словаря и представляющий это дерево документ XML

Dic	:	DicBody	{Out=Prologue + "<Dic>" + \$1 + "</Dic>";
DicBody	:	Entry	{ \$\$ = "<Entry>" + \$1 + "</Entry>" }
		DicBody Entry	{ \$\$ = \$1 + \$2 }
Entry	:	Left Right	{ \$\$ = \$1 + \$2 }
Left	:	Term	{ \$\$ = "<Term>" + \$1 + "</Term>" }

Рис. 6. Фрагмент схемы трансляции общего вида в нотации Yacc (с уточненной входной грамматикой)

5. Содержательное определение исследуемого класса трансляций

Анализ указанных выше задач, решаемых аппаратом трансляции, позволил выявить следующие их особенности.

5.1 Трансляция заключается в переходе от формы к содержанию для некоторого класса информационных объектов (словарей, документов). В теории трансляции в этой связи используются термины *конкретный синтаксис* и *абстрактный синтаксис*. В технологии XML: *структура представления* (презентации) документа и его *содержательная структура* (структура информационного наполнения). В лингвистике: *поверхностная* и *глубинная* структура текста. В лексикографии: *словарь* и *словарная информация* (абстрактная лексикографическая система [12]).

5.2 Содержательная структура является деревом порождения выходной грамматики. Отсюда следует, что необходимо использовать регулярные выражения в правилах грамматики (см. п. 3).

5.3 Токены обеих грамматик можно разбить на два класса: *содержательные* и *разметочные*. Содержательные токены являются типами содержательных элементов данных, которые будут сохранены в БД. Выходная грамматика содержит только такие токены; соответственно, все листья выходного дерева помечены ими. Входная грамматика содержит как содержательные, так и разметочные токены; последние необходимы для представления древесной содержательной структуры посредством линейной структуры входного текста. Разметочные токены необходимы для распознавания структуры

входного текста, их можно также назвать *структурирующими* или *форматирующими*.

5.4 Имеется значительная «близость» между деревьями разбора G_1 и соответствующими им деревьями порождения G_2 . Близость заключается в том, что входное дерево или значительный его корневой сегмент получается из выходного дерева (или его корневого сегмента) путем прикрепления к некоторым внутренним узлам добавочных листьев, помеченных разметочными токенами; пример см. в [13]. Соответственно, выходное дерево может быть получено из входного путем удаления разметочных листьев и, возможно, замены лишь небольшого числа поддеревьев небольшой высоты на другие, «непохожие» поддеревья. Соответствие между каждой парой таких поддеревьев задается неявно, путем указания функции элементной трансляции. Приведем примеры.

Пример 1. Номер омонима в словаре часто обозначается римским числом, представленным латинскими буквами, а в базе данных — арабской цифрой. Функция элементной трансляции преобразует строку, представляющую римское число, в одну цифру.

Пример 2. Пусть некоторая словоформа входного текста транслируется в запись, содержащую морфологическую и грамматическую информацию относительно этой словоформы. Функцией элементной трансляции служит процедура морфологического анализа.

Пример 3. Пусть некоторое предложение входного текста транслируется в синтаксическое дерево ЕЯ. Функцией элементной трансляции служит процедура синтаксического анализа текста ЕЯ.

Будем говорить, что между входными и выходными деревьями (и соответственно, грамматиками) имеется *простое соответствие*, если нет «непохожих» пар поддеревьев, соответствующих друг другу при трансляции; в противном случае имеется *усложненное соответствие*.

Анализ показал, что случай простого соответствия описывается *простой* схемой трансляции с дополнительным ограничением, указанным выше в пункте (3) списка особенностей (поэтому мы и ввели термин «простое соответствие»). Наш демонстрационный пример описывается простой схемой трансляции. Для таких схем в разделе 4 была предложена *специальная нотация*, значительно более наглядная, чем используемая в схемах трансляции общего вида. Основная причина — введенная нами *подразумеваемая интерпретация* выходной грамматики как исчисления деревьев, которые отождествляются с деревьями содержательной структуры; последние представляются документами XML, служащими выходом транслятора. Поэтому *нет семантических правил*. Теоретическая нотация для СУ-схем также менее удобна, чем предлагаемая, из-за своей избыточности.

Дадим краткое содержательное определение описанного класса: трансляция текстового документа в его древовидную содержательную структуру при условии «близости» последней с поверхностной структурой документа; текст может быть обогащенным (RTF, DOC и т.п.), а входная грамматика неоднозначной, что приводит к диалоговому режиму трансляции. Назовем данный класс *TDC-трансляциями* (аббревиатура по первым буквам слов Text, Document, Content). Это не множество в математическом смысле, а *открытая совокупность*, поскольку понятие близости между грамматиками не задано формально.

6. Определение обратной схемы трансляции

С целью удобства задания трансляций класса FCS, введем аппарат *обратных схем трансляции*, который можно рассматривать как *удобную нотацию* для простых и «почти простых» схем трансляции, а также СУ-схем общего вида (с перестановками нетерминалов). Как известно, удобная нотация часто приводит к качественно новым результатам, в чем мы убедимся применительно к данному случаю. Отметим, что объем данной работы не позволил дать полностью формальное определение, поэтому демонстрационный пример на рис. 6 следует считать неотъемлемой частью определения.

Обратной схемой трансляции назовем пару:

$$S_{REV} = (G_2, E_2),$$

где G_2 — выходная ФГ; E_2 — множество элементов трансляции совместно с соответствием между ними и элементами регулярных выражений в правых час-

тях правил грамматики. Синтаксически соответствие оформляем с помощью двоеточия в виде пар $A : e$.

Каждый элемент трансляции $e \in E$ является строкой *атрибутов представления*, записываемых в произвольном порядке, причем все они необязательны:

$$e ::= [\underline{beg} = b] [\underline{end} = e] [\underline{sep} = s] \\ [\underline{font} = f] [\underline{num} = n] [\underline{tran} = t]$$

Уточненный синтаксис: элемент трансляции, содержащий несколько атрибутов, берется в скобки; атрибуты разделяются запятыми; пустой элемент трансляции опускается. Пара «атрибут=значение» может быть взята в квадратные скобки, если «значение» является ϵ -порождающим регулярным выражением.

Значениями атрибутов *beg*, *end*, *sep* являются выражения вида:

$$r[:f][:d][']r[:f][:d]]^*,$$

где r — регулярное выражение, задающее вариант лексического значения разметочного токена; f — вектор атрибутов шрифтового оформления; d — описание диалога в форме *Dialog(j, k)*, где j — номер диалога, k — номер пункта диалога.

Значение атрибута *num* — натуральное число; атрибута *tran* — имя функции, атрибута *font* — вектор атрибутов шрифтового оформления.

Содержательное описание.

6.1 Каждый из атрибутов *beg*, *end*, *sep* задает один или несколько альтернативных разметочных токена, для каждого из которых может быть указано своё шрифтовое оформление и уточняющий диалог. При этом атрибут *beg* задает разметочные токены, стоящие *перед* нетерминалом B в соответствующем правиле входной грамматики, атрибут *end* — *после*, атрибут *sep*, допускаемый только для итераций — *между* повторяющимися нетерминалами. То есть схемному правилу вида:

$$A \rightarrow \dots B^+ : (\underline{beg} = b, \underline{end} = e, \underline{sep} = s) \dots$$

соответствует во входной грамматике правило следующего вида (или ему эквивалентного):

$$A \rightarrow \dots b B (s B)^* e \dots$$

6.2 Атрибут *font* задает вектор атрибутов шрифтового оформления. Если B нетерминал, то шрифтовые атрибуты *наследуются* для всех подчиненных B вхождений грамматических символов.

6.3 Атрибут *num* задает порядковый номер нетерминала в соответствующей продукции входной грамматики.

Несложно доказать, что если в обратной схеме трансляции присутствуют только описанные выше атрибуты, причем их значениями являются цепоч-

ки токенов (а не произвольные регулярные выражения), она является представлением некоторой СУ-схемы; если отсутствует атрибут *num* — то представлением простой СУ-схемы; соответствующую обратную схему естественно также назвать *простой*.

6.4 Атрибут *tran* задает имя *элементной функции трансляции*, сигнатура которой:

$$t: L(G_1 | A) \rightarrow T^{XML}(G_2 | A).$$

Функция *t* частичная, обладает побочным эффектом в виде сообщения о синтаксической ошибке. Содержательно, эта функция задает трансляцию множества фраз, определяемых нетерминалом *A* в G_1 , в множество поддеревьев, определяемых этим же нетерминалом в G_2 . Элементная трансляция для нетерминалов с атрибутом *tran* задается *процедурным* образом, а для нетерминалов без этого атрибута — *декларативным* образом, что является отличительной чертой СУ-схем по сравнению со схемами общего вида. Проекция грамматик $G_1 | A$ и $G_2 | A$ имеют правила, несопоставимые в рамках СУ-трансляций и, в нашей терминологии, «далеки» друг от друга (см. раздел 5 настоящей статьи).

Формально: при наличии атрибута *tran* обратная схема трансляции является представлением такой прямой схемы трансляции общего вида, в которой правило:

$$A \rightarrow \dots B : (num = n, tran = t) \dots$$

соответствует, в нотации *Jacc*, правилу:

$$A \rightarrow \dots B \{ \$\$ = \dots + t(\$n) + \dots \} \dots$$

Пояснение. Синтезируемый строковый атрибут для нетерминала *A* является конкатенацией, содержащей одним из аргументов вызов функции *t* для вхождения нетерминала номер *n* этого правила, т.е. *B*. Функция *t* возвращает поддерево, порожаемое данным нетерминалом, в виде элемента XML.

На рис. 6 изображена обратная схема трансляции для демонстрационного примера.

7. XML-схемы трансляции

Схемами XML можно представлять как прямые, так и обратные текстовые схемы трансляции, но наиболее удобны они для представления обратных схем. Ниже приводятся в качестве примера XML-схемы трансляции для демонстрационного фрагмента словаря, а также некоторые специфические особенности организации таких схем. Заметим, что ввиду чрезвычайной мощности языка схем XML, возможны различные варианты.

Специфические особенности выбранного нами способа представления *обратной* схемы трансляции схемой XML следующие (рис. 9):

— каждому содержательному токеноу соответствует сложный тип с именем *t<имя токена>*;

— все атрибуты представления являются атрибутами (а не элементами) схемы;

— каждое употребление (возможно, итеративное) содержательного токена имеет тип, полученный путем расширения указанного выше типа. В расширении задаются атрибуты разметки. Во избежание коллизии имен, таких атрибутов в определении типа и в его расширении, используется различный регистр первой буквы (в примере *sep* и *Sep*). Значения атрибутов разметки представляются фактсетом *enumeration* для строкового типа, каждому элементу которого соответствует отдельный компонент значения атрибута;

— описание диалога представляет собой отдельный элемент с именем *Dialog<номер>*.

В *прямой* XML-схеме трансляции, рис. 10, разделение синтаксического и лексического уровней осуществляется с помощью *расширяемых типов*: *FToken* — «форматирующий токен» (простой тип) и *SToken* — содержательный токен (сложный тип). Все элементы, расширяющие эти типы, принадлежат лексическому уровню. Диалог в этой схеме не реализован.

Анализ показал, что представление атрибутов на диаграммах схем XML весьма громоздко. Предлагаем альтернативный, хотя и неформальный метод их представления с помощью выносок, вручную пристыкованных к блокам диаграммы схемы XML. На рис. 8 изображена получаемая таким образом *частично формализованная обратная XML-схема трансляции* для демонстрационного примера. Предлагается использовать схемы такого типа в качестве удобного средства проектирования, «графового псевдокода» для обратных схем трансляции. Кроме того, предлагается использовать их в качестве средства *двухаспектного* описания (уровни презентации и содержания) *структуры словарной статьи* [13, 19].

8. Принципы реализации трансляторов, управляемых XML-схемами трансляции

Интерпретационный вариант. Заключается в разработке программы-интерпретатора XML-схемы трансляции, осуществляющей трансляцию в режиме динамического связывания со схемой. Перспективный, но трудоемкий в реализации вариант.

Компиляционный вариант. Разрабатывается программа метатранслятора, преобразующего XML-схему трансляции в обычную схему трансляции для некоторого существующего генератора трансляторов. Данный вариант проще в реализации, но более громоздок.

9. Основные результаты и выводы

Проанализированы две актуальные задачи из компьютерной лингвистики и из технологии XML, сводящиеся к разработке трансляторов. Сформу-

Правила синтаксического уровня	
Dic	→ Entry*:(sep=EOL, [end=EOL])
Entry	→ Term*:sep="," (RefFull Tran*:sep="," [RefSyn])
RefFull	→ Term:beg=NoteFull
RefSyn	→ Term:beg="." NoteSyn)
Правила лексического уровня	
Term	→ EngWord*:sep=","
Tran	→ RusWord*:(sep="," " - "), font="bold", [beg="''], [end="''])
EOL	→ #SD#\$A
NoteFull	→ "См.":font="italic"
NoteSyn	→ "См.":font="italic"
EngWord	→ EngChar*["-"EngChar*]
RusWord	→ RusChar*["-"RusChar*]
Описание диалогов	
Dialog1	→ Title: "Укажите смысл запятой:" Item1: ("Разделитель элементов словарной статьи", ",", " ") Item2: ("Знак препинания внутри одного элемента", ".", " ")

Рис. 7. Обратная схема трансляции

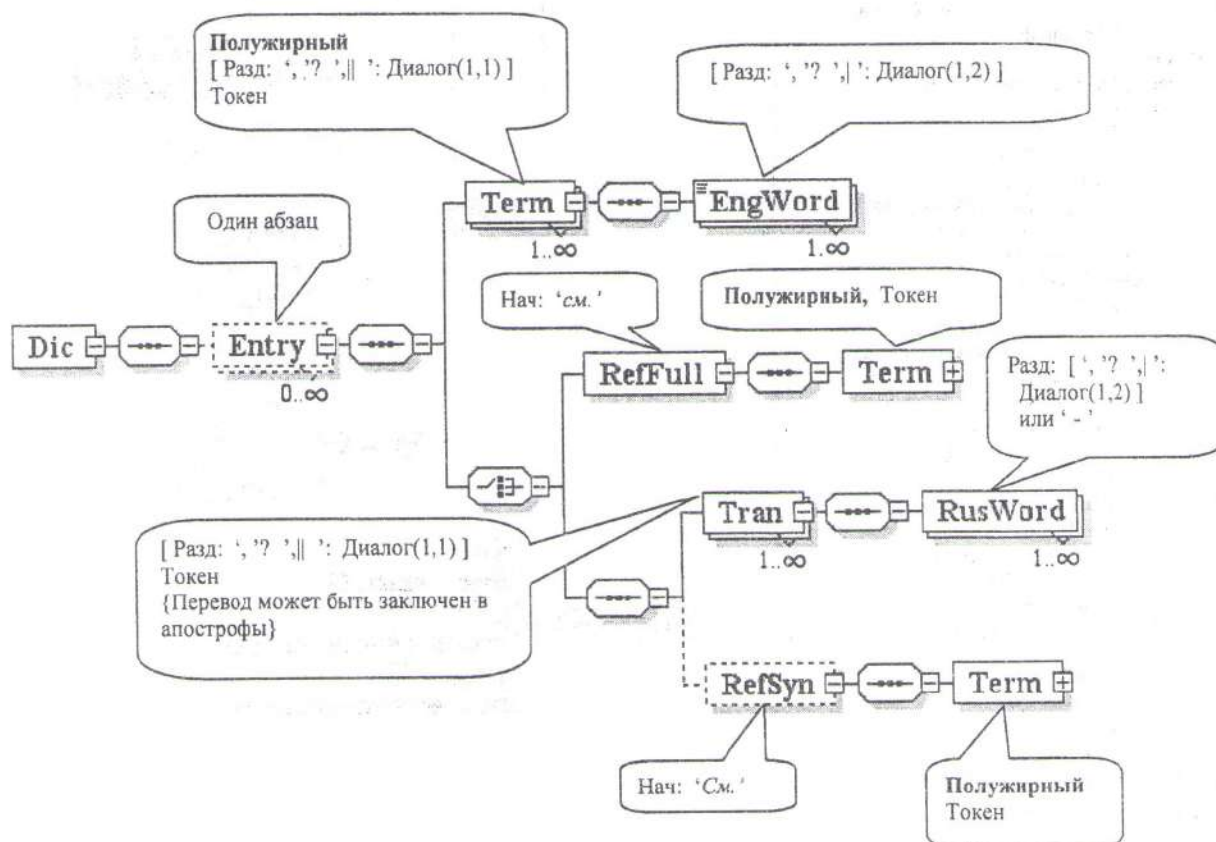


Рис. 8. Частично формализованная обратная XML-схема трансляции для демонстрационного словаря, она же — описание структуры словарной статьи

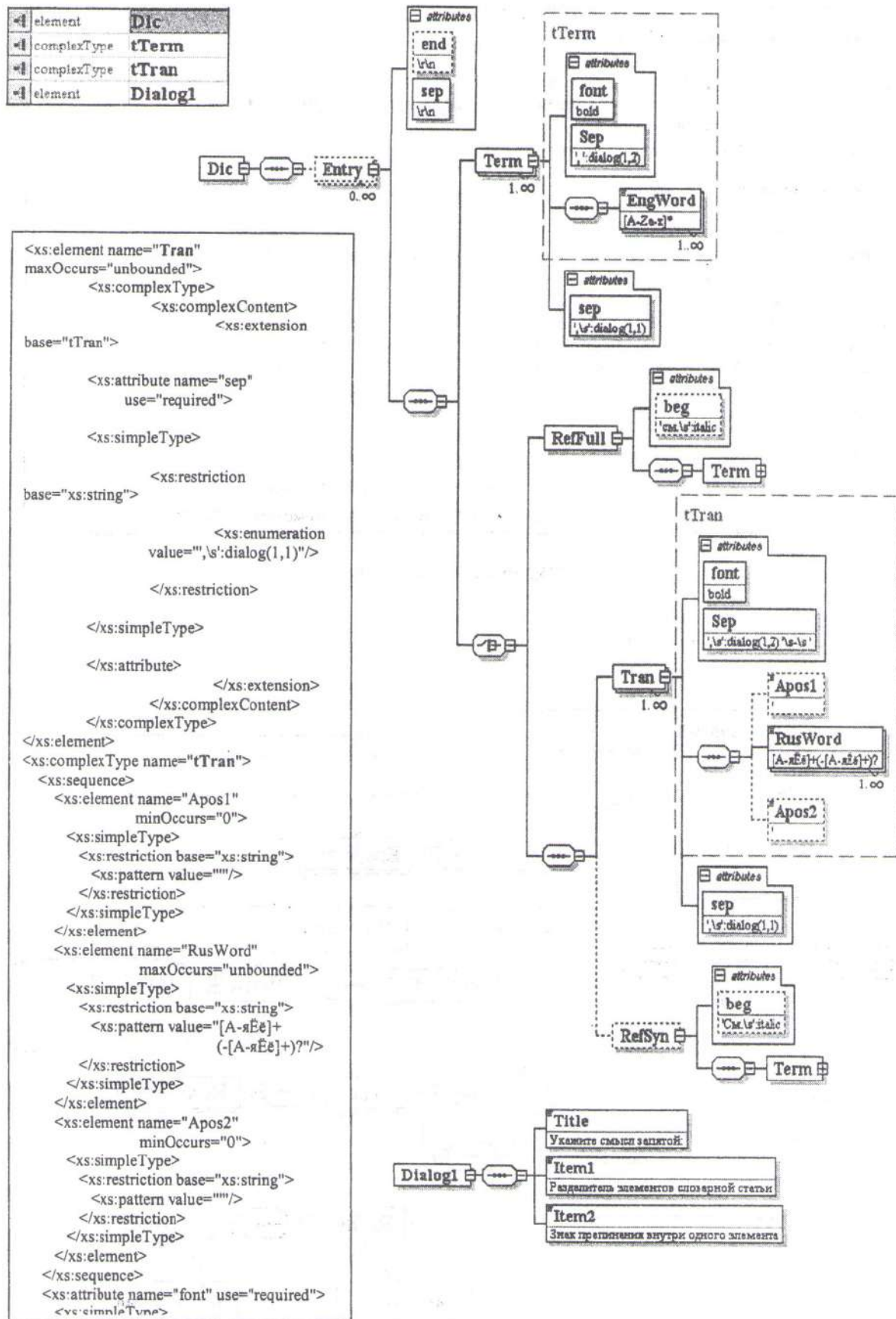


Рис. 9. Обратная XML-схема трансляции
(список глобальных элементов, фрагмент текста, основная диаграмма и диаграмма диалога)

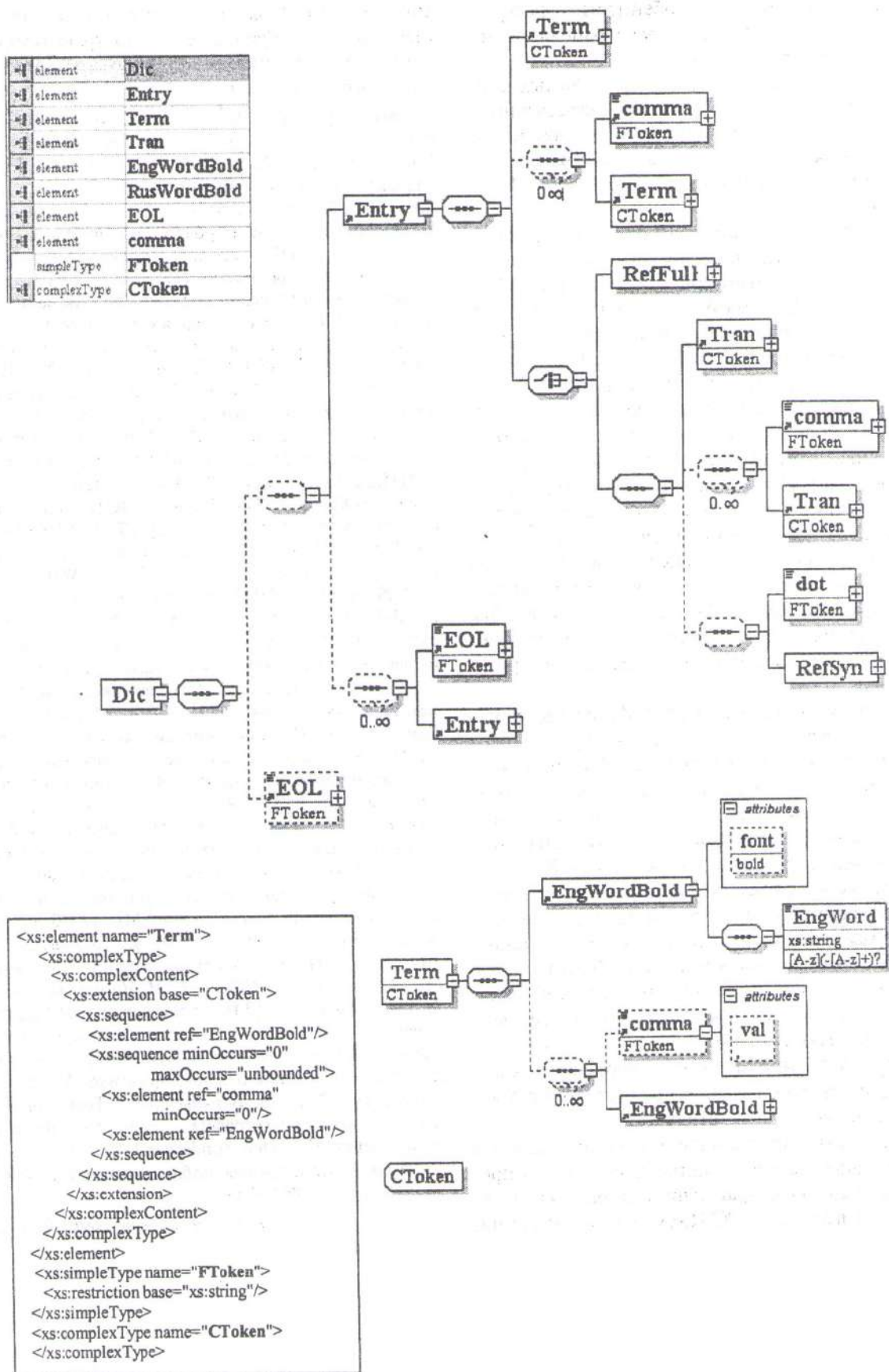


Рис. 10. Прямая XML-схема трансляции
(список глобальных элементов, фрагмент текста, диаграмма синтаксического уровня, диаграмма токена «термин» и диаграмма расширяемого типа «содержательный токен»)

лированы отличительные особенности этих задач и определен соответствующий класс трансляций, названный TDC-трансляциями.

Выявлены недостатки традиционных схем трансляции применительно к этому классу и предложены принципы их преодоления, в частности, предложен формализм обратных схем трансляции, ориентированный именно на описание TDC-трансляций.

Основным результатом работы является предложение представлять схемы трансляции с помощью особым образом интерпретируемых схем XML, названных XML-схемами трансляции. Эти схемы оказались особенно удобными для представления именно обратных схем трансляции. Использование XML-схем трансляции позволит значительно ускорить процесс разработки трансляторов за счет перехода к их визуальному непроцедурному проектированию с помощью редакторов XML. В области компьютерной лексикографии это означает значительное ускорение создания лексикографических БД на основе традиционных словарей; в технологии XML — ускорение процесса преобразования документов специфических форматов в формат XML. Предложено использовать технологию XML также для облегчения программной реализации трансляторов, в частности, для реализации деревьев разбора.

Предложено использовать XML-схемы трансляции в качестве средства описания структуры словарной статьи — одного из основных объектов лексикографии. Описание получается *двухаспектным* — описываются поверхностная и содержательная структуры в их взаимосвязи; известные нам способы описания являются *одноаспектными*. Консультации с лексикографами убедили, что получен весьма удобный на практике метод наглядного описания структуры словарной статьи, особенно вариант частично-формализованных схем. Данный метод можно рассматривать и вне связи с процессом трансляции, а в общем контексте проектирования лексикографических систем [12].

Результаты работы представляют вклад одновременно в теорию трансляции, технологию XML и компьютерную лингвистику.

Перспективами дальнейших исследований в данном направлении являются: формальное определение класса TDC-трансляций; разработка трансляторов, управляемых XML-схемами трансляции;

апробация предложенного метода на разнообразных задачах, требующих создания трансляторов, в том числе на традиционных задачах разработки языков программирования.

Список литературы: 1. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т. 2. М.: Мир, 1978. — 487 с. 2. Ахо А., Сети Р., Ульман Дж. Компиляторы: принципы, технологии, инструменты: Пер. с англ. М.: «Вильямс», 2001. — 768 с. 3. Костельцев А.В. Построение интерпретаторов и компиляторов, СПб: Наука и техника, 2001. — 224 с. 4. Мозговой М. В. Классика программирования: алгоритмы, языки, автоматы, компиляторы. Практический подход. СПб.: Наука и техника, 2005. — 320 с. 5. XML Schema Part 1: Structures Second Edition W3C Recommendation 28 October 2004 <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-1-20041028/>. 6. Хопкрофт Дж., Мотвани Р., Ульман Дж. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. 2-е изд. М., «Вильямс». — 528 с. 7. XML Information Set W3C Recommendation 24 October 2001. <http://www.w3.org/TR/2001/REC-xml-infoset-20011024>. 8. Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition) W3C Recommendation 04 February 2004 <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xml-20040204>. 9. Document Object Model (DOM) Level 1 Specification (Second Edition) Version 1.0 W3C Working Draft 29 September, 2000. <http://www.w3.org/TR/2000/WD-DOM-Level-1-20000929>. 10. XMLSpy 2005 Home Edition. <http://www.altova.com>. 11. Широков В.А. Інформаційна теорія лексикографічних систем. К.: Довіра, 1998. — 331 с. 12. Широков В.А. Феноменологія лексикографічних систем. К.: Наукова думка, 2004. — 319 с. 13. Буслик Н.Н., Тимофеев С.П. Об одной модели структуры словарной статьи и ее применении к задаче преобразования традиционного словаря в документ XML // Проблемы бионики. — Харьков. № 59. 2003. — С. 8—18. 14. Буслик Н.Н., Тимофеев С.П. Диалоговые двухуровневые формальные грамматики и их использование при создании лексических баз данных // Проблемы бионики, 2002, № 57. 15. Буслик Н.Н., Тимофеев С.П. Преобразование традиционных словарей в документы XML. // Сб. научных трудов ХНУРЕ. — 2004. — С. 86—87. 16. Гладкий Н.В., Мельчук И.А. Элементы математической лингвистики. — М.: Наука, 1969. — 192 с. 17. M. Murata, D. Lee, and M. Mani. Taxonomy of XML Schema Languages using Formal Language Theory. In Extreme Markup Languages, Montreal, Canada, 2001. 18. Борковский А.Б. Англо-русский словарь по программированию и информатике. М.: Русский язык, 1987. — 333 с. 19. Дубичинский В.В. Теоретическая и практическая лексикография. — Вена, Харьков: Wiener Slawistischer Almanach Sonderband 45, 1998. — 156 с. 20. Грейс М. Проектирование баз данных на основе XML. М.: «Вильямс», 2002. — 640 с.

Поступила в редколлегию 20.10.2005

УДК 519.08

С.Т. Кузнецов

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ РЕШЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Введение

Об интеллекте человека судят по умению так распоряжаться знаниями и методами, чтобы избирать всегда самый прямой и надежный путь к решению поставленных задач, не считаясь с тем, к каким областям научной и практической деятельности эти знания и методы относятся.

С тех пор, как появились средства вычислительной техники (ВТ) стали говорить об автоматизации интеллектуальной деятельности человека. «В компьютер заложили исходные данные, и он мгновенно (через некоторое время) напечатал (вывел на экран дисплея) оптимальный вариант решения задачи: раскрой ткани, перевозка грузов, обмен квартиры и т.п.», — фразы подобного рода иногда встречались в газетных и журнальных статьях двадцатилетней давности, посвященных успехам ВТ. Теперь времена изменились. Почти все (и журналисты в том числе) понимают, что не все так просто и безоблачно.

1. Постановка задачи

По свидетельству Мартина Гарднера [1, с.418] в 1874 году У.Стенли Джевонс вопрошал в своей книге «Основы науки»: «Может ли читатель сказать, произведение каких двух чисел равно 8616460799? Думаю, что, вряд ли кто-нибудь, кроме меня самого сумеет дать ответ на этот вопрос, ибо это два больших простых числа». Далее Гарднер замечает: «Джевонсу, изобретателю «логического пианино», не следовало бы столь опрометчиво делать заключения о скорости действия будущих вычислительных машин. В наши дни ЭВМ позволяет найти оба числа (96079 и 89681) быстрее, чем он мог бы их перемножить».

Задачи такого рода интересны для нас по нескольким причинам. Во-первых, они требуют полного перебора, который может осуществить непосредственно только компьютер. Во-вторых, нужно составить соответствующую программу. Эта работа довольно проста для программиста и почти не подвластна современному компьютерному пользователю. Данное утверждение, конечно, неоднозначно, однако, многие преподаватели информатики вынуждены с этим согласиться. В-третьих, такого сорта задачи в чистом виде — вычислительные и отражают примитивную интеллектуальную деятельность человека (хотя и повышают ее эффективность).

Под интеллектуальными мы будем подразумевать задачи-головоломки для решения, от которых

требуется, прежде всего, умение логически мыслить, а выполнение арифметических вычислений — не столь существенно.

В результате проведенных исследований удалось разработать метод, пригодный для решения довольно широкого, хотя и специфического круга таких задач. Для данного метода создан алгоритм, который довольно просто воплощается в компьютерной программе и не требует от пользователя специальной подготовки по построению математической модели, изучению ПРОЛОГ-подобного языка программирования и т.п.: на основании введенных данных компьютер выдает результат. Проведена апробация разработанной программы для решения некоторого класса экономических задач [2].

2. Сущность метода и его компьютерная реализация

Слова Шерлока Холмса: «Сколько раз я говорил вам, отбросьте все невозможное, тогда то, что останется, и будет ответом, каким бы невероятным он ни казался», могли бы послужить эпиграфом к этой статье.

Возьмем типичную логическую задачу-головоломку:

На допрос вызваны пятеро подозреваемых в ограблении: *A, B, C, D* и *E*. Неопровержимыми уликами доказано, что по крайней мере один из них виновен и никто кроме *A, B, C, D* и *E* в ограблении не участвовал. Есть еще ряд фактов, которые удалось установить.

1. Если *A* — виновен, то виновен и *B*.
2. Виновен либо *D*, либо *E*, либо виновны оба.
3. Виновен либо *B*, либо *C*, но не оба.
4. *D* и *C* всегда действуют только сообща.
5. Если виновен *E*, то только кто-то один — *D* или *B* — виновен обязательно. Но, если *D* — не виновен, а *A* — виновен, то *E* — точно не виновен.

Инспектор уголовного розыска подумал минут десять и отпустил одного из подозреваемых, принеся ему извинения. Итак, чья невиновность не вызывает сомнения?

Задачу можно решить, действуя формально — по алгоритму. Нужно выписать по порядку все противоречия условию задачи. Теперь, просматривая по порядку все варианты — кандидаты на решение — будем исключать негодные. Оставшиеся не исключенными комбинации и будут представлять множество решений задачи. Разумеется, множество может быть и пустым, может состоять из одного элемента. В нашем же случае останутся три вариан-

та. Во всех трех A — невиновен. Его и отпустил инспектор уголовного розыска. Все становится окончательно ясно из табл. 1, табл. 2.

Приведем краткие пояснения. В табл. 1 важна естественность формы записи логических противоречий. Если A — виновен, будем писать $A=1$, либо просто A . Если B — не виновен, то $B=0$ или $\bar{B}$.

Таблица 1

Номер условия	Противоречие			
	Номер	Логическая форма записи	Двоичная форма записи	Десятичная форма записи
1	1	$A\bar{B}$	***01	1,2
2	2	$\bar{D}\bar{E}$	00***	0,24
3	3	$\bar{B}\bar{C}$	**00*	0,6
3	4	BC	**11*	6,0
4	5	$\bar{D}C$	*01**	4,8
4	6	$D\bar{C}$	*10**	8,4
5	7	$E\bar{D}\bar{B}$	10*0*	16,1
5	8	$\bar{D}AE$	10**1	17,8

Приведем весовые коэффициенты двоичных разрядов K : $K(E)=16$, $K(D)=8$, $K(C)=4$, $K(B)=2$, $K(A)=1$.

Таким образом, получаем восемь противоречий — по одному соответственно для 1-го и 2-го фактов и по два — для оставшихся трех.

В табл. 2 представлены все 32 варианта комбинаций виновности (невиновности) пятерых подозреваемых A , B , C , D и E . Для каждого варианта указан номер по порядку выполняемого противоречия, на основании которого данная комбинация не включается в список решений.

Таким образом, не противоречивых вариантов — три (9-й, 2-й и 29-й). Невинность A — очевидна (см. колонку табл. 2 «вариант двоичной записи»).

Поясним подробнее, то, что должен сделать пользователь для того, чтобы ввести данные в компьютер и получить решение задачи. Запишем логически противоречия условию задачи.

По первому факту делаем одну запись.

1. $A\bar{B}$ — не может быть, чтобы A был виновен, а B — нет.

По второму факту — также одна запись.

2. $\bar{D}\bar{E}$ — не может быть, чтобы D и E были оба не виновны.

По третьему факту сделаем две записи (нумерация сквозная).

3. $\bar{B}\bar{C}$ — не может быть, чтобы B и C были оба не виновны.

4. BC — не может быть, чтобы B и C были оба виновны.

На основании четвертого факта получаем две записи. Когда один — D или C — виновен, а другой — нет.

5. $\bar{D}C$ — не может быть, чтобы D был не виновен, а C виновен.

Таблица 2

Номер	Вариант		Номер противоречия
	Двоичная запись	Десятичная запись	
1	00000	0	2
2	00001	1	1
3	00011	3	2
4	00010	2	2
5	00110	6	2
6	00111	7	2
7	00101	5	1
8	00100	4	2
9	01100	12	-
10	01101	13	1
11	01111	15	4
12	01110	14	4
13	01010	10	6
14	01011	11	6
15	01001	9	1
16	01000	8	3
17	11000	24	3
18	11001	25	1
19	11011	27	6
20	11010	26	6
21	11110	30	4
22	11111	31	4
23	11101	29	1
24	11100	28	-
25	10100	20	5
26	10101	21	1
27	10111	23	4
28	10110	22	4
29	10010	18	-
30	10011	19	8
31	10001	17	1
32	10000	16	3

6. $D\bar{C}$ — не может быть, чтобы D был виновен, а C нет.

И, наконец, делаем еще две записи по пятому факту.

7. $E\bar{D}\bar{B}$ — при виновности E не могут D и B быть не виновны оба.

8. $\bar{D}AE$ — не может быть, чтобы E был виновен, когда D — не виновен, а A — виновен.

Порядок записи противоречий — не принципиален. Однако для ввода в компьютер данных нужно произвести две несложные операции:

1. Задать порядок следования величин при помощи двоичных весовых коэффициентов K (табл. 1):

$A=1$, $B=2$, $C=4$, $D=8$, $E=16$.

2. Представить противоречия в десятичной форме (табл. 1):

1. — 1,2; 2. — 0,24; 3. — 0,6; 4. — 6,0;
5. — 4,8; 6. — 8,4; 7. — 16,1; 8. — 17,8.

Таким образом, каждое противоречие имеет довольно простой формат — пара целых неотрицательных чисел, разделенных запятой. До запятой — сумма двоичных «весов» для «единиц», после — для «нулей». Если какая-то сумма отсутствует — пишем «0». После ввода данных в компьютер получаем три варианта решений:

	A	B	C	D	E
1	0	0	1	1	0
2	0	0	1	1	1
3	0	1	0	0	1

Во всех трех случаях *A* — не виновен, его и отпустил следователь.

Следует подчеркнуть особо, что пользователь может быть в принципе не знаком ни с двоичной системой (на экран выводятся нули — единицы в порядке слева направо от *A* до *E*), ни с аппаратом формальной логики (мы ничего не говорили о логических операциях и логических уравнениях).

3. Программная реализация алгоритма

В выше рассмотренном алгоритме реализован *метод решета*, который часто используется в прикладной математике. Широко известен метод поиска простых чисел при вычеркивании («выкалывании» на пергаменте) составных чисел, придуманный древнегреческим ученым Эратосфеном (решето Эратосфена). В нашей задаче ничего самому вычеркивать не нужно. Это автоматически сделает за нас компьютерная программа «Виртуальный логический решатель» (ViLoR). Ниже приведена минимальная версия этой программы.

Программа miniViLoR. Язык программирования — GW-Basic:

```

5  REM miniViLoR
10  CLS: K=0: DIM T1(100), T0(100), T(14)
20  FOR I=0 TO 14: T(I)=2*И: NEXT I
30  INPUT "LOGPEREM."; L:N=2*ИL-1:
    PRINT "PPOTIVOR:"
40  M=0
50  M=M+1
60  PRINT M; "+,-"
70  INPUT T1(M), T0(M)
80  IF T1(M)>0 OR T0(M)>0 THEN 50 ELSE M=M-1
85  INPUT "ACT.PEREM."; ACT:IF ACT>L AND
    ACT<>69 THEN 260
90  FOR I=0 TO N
100 IF I=0 THEN V=0: ED=0: GOTO 140
110 T=((I XOR (I-1))+1)/2
120 W=V XOR T:IF W>V THEN ED=ED+1
    ELSE ED=ED-1
130 V=W
140 IF ACT<>69 AND ED<>ACT THEN 240
150 FL=0
160 FOR P=1 TO M
170 IF (V XOR T1(P))+T1(P)<>V

```

```

    OR (V XOR T0(P))-T0(P)<>V THEN 190
180 FL=1:P=M
190 NEXT P
200 IF FL=1 THEN 240 ELSE K=K+1: PRINT K; "-";
210 FOR I=0 TO L-1
220 Q=V XOR T(I):IF Q<V THEN PRINT I;
    ELSE PRINT 0;
230 NEXT I:PRINT "ED="; ED
240 NEXT I:IF K=0 THEN PRINT "PUSTO!!!"
250 BEEP: K=0: GOTO 85
260 END

```

При информационном запросе сначала нужно ввести число логических переменных. В нашем случае их — пять. Затем последовательно вводятся противоречия в десятичной форме записи (табл. 1). Отметим, что это — пары целых неотрицательных чисел, разделенных запятой: до запятой стоят суммы весовых коэффициентов *K* для «единиц» («плюсов»), а после запятой — суммы весовых коэффициентов *K* для «нулей» («минусов»). Если «нули» или «единицы» в данном противоречии отсутствуют, то на соответствующем месте пишем «ноль». Затем нужно ввести число активных переменных («единиц» в решении). В нашем случае оно — не определено, поэтому вводим число «69».

В результате получаем решение в возрастающей последовательности следования логических переменных:

1	0	0	1	1	0
2	0	0	1	1	1
3	0	1	0	0	1

Рассмотрим один из наиболее сложных вариантов известной головоломки «О приглашении на обед».

Нужно создать как можно большее представительство на званном обеде. Задача оказывается не из легких, т. к. из 13-ти кандидатов десять выдвигают определенные требования.

A не возражает против каких-либо приглашений. *В* требует одновременного присутствия *C* и *D*. *C* считает, что если одновременно пригласить *I* и *H*, то присутствие хотя бы одного из двух *F* или *G* — желательно. Но если *I* пригласить, а *H* — нет, то *C* точно не придет, если не будет ни *A*, ни *F*. *D* возражает против каждого из *E*, *G*, *H*. Между тем *E* требует обязательно пригласить кого-либо, одного *Г* или *H*, но не обоих. *F* не придет, если не будет *H*. *G* и *I* не возражают против каких-либо приглашений. *H* не придет, если будет *J*. *I* не явится, если не будет *M*. *K*, если не будет *L*, возражает против *I*, а если не будет *I*, возражает против *H*. *L* не придет если будут *F* и *H* одновременно и не желает находиться в одной компании ни с *A*, ни с *J*. Чтобы явился *M* надо пригласить либо *F*, либо *K*. Кроме того *M* не желает при-

существования H без L и не придет, если будет хотя бы кто-то один A или J .

Так какое же минимальное число гостей, и кого именно можно пригласить на обед, чтобы у присутствующих не было претензий к организаторам.

Здесь главное, верно записать последовательно все противоречия. Для однозначности весовые двоичные коэффициенты зададим в возрастающем порядке. Соответственно алфавитному порядку следования логических переменных:

$A-1, B-2, C-4, D-8, E-16, F-32, G-64, H-128, I-256, J-512, K-1024, L-2048, M-4096$.

Теперь записать однозначно противоречия трудно не составит. Не будем их здесь приводить. Отметим только, что если не вводить «нежестко заданное» противоречие

$$CH\overline{I}FG \rightarrow 388,96,$$

то при числе активных переменных 13, 12, 11, 10, 9 и 8 решений не будет. Если задать число 7, то получим два решения:

1 — 0010001110111
2 — 0010100110111.

Выбирая первый вариант, выполняем и пожелания C . Итак, на обед нужно пригласить C, G, H, I, K, L, M . Всего — семь гостей.

Заключение

В [3, с. 15] предложено в качестве рабочего следующее определение искусственного интеллекта (ИИ):

ИИ — это одно из направлений информатики, целью которого является разработка аппаратно-про-

граммных средств, позволяющих пользователю — не программисту решать свои, традиционно считающиеся интеллектуальными задачи, общаясь с ЭВМ на ограниченном подмножестве естественного языка.

Учитывая то, что данное определение синтезировано из нескольких десятков источников, можно считать, что предложенная в статье компьютерная программа в определенной степени отвечает требованиям, предъявляемым к средствам ИИ.

В процессе работы над созданием компьютерной программы «Виртуальный логический решатель» мешала традиция, заложенная еще английским экономистом и логиком Уильямом Стенли Джевонсом (1835–1882 гг.), которая не могла быть рассчитана на высокотехнологичные персональные компьютеры в силу того, что «логическое пианино» и подобное ему устройство были механическими. Желание просто заменить «механические» концепции «электронными» не привело к желаемому результату. Поэтому все, досих пор составляемые программы, практически требовали индивидуального подхода в силу громоздкости соотношений алгебры логики. На самом деле, проще почти всегда было решить задачу, не прибегая к услугам компьютера, а приобретая некоторые специфические интеллектуальные навыки.

Список литературы: 1. Гарднер М. Математические досуги. М.: «Мир», 1972. — 496 с. 2. Бондарь О. П. Кузнецов С. Т., Столярчук Н. В. Задача о назначениях, критерии совместимости работников и справедливости назначений // Искусственный интеллект. № 4. 2005. — С. 447–456. 3. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2001. — 384 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2005.

УДК 519.178, 519.711

Д.А.Павлов

ЭКСТЕНСИВНОЕ РАЗВИТИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Введение

Различают качественный и количественный рост информационных структур, либо интенсивный и экстенсивный. Такое же поведение присуще онтологиям. Рассмотрим экстенсивную составляющую развития онтологических структур, которая является основной чертой, необходимой для использования в качестве средств представления знаний.

Возможность дополнять существующие структуры новыми знаниями, резко отличающимися от ранее представленных, была отправной точкой для множества исследований и разработок [1, 2]. В ряде работ раскрывается процесс развития онтологических структур, как с точки формальной логики [3], так и с точки зрения общего понимания сути развития [2, 4]. Также существует множество прикладных исследований в рамках разработок сред создания онтологий [5–7]. Эти работы, не смотря на существенный вклад в данном направлении, имеют некоторые недостатки, среди которых хотелось бы отметить низкий уровень формализации процессов развития, а также поверхностный анализ сложных онтологических структур, что не позволяет обобщить методики работы с ними.

Разработка современных сложных онтологических структур представляет собой достаточно стихийный и слабо формализованный процесс, что порождает создание уникальных структурных решений. Зачастую такие решения являются неоптимальными и требуют дополнительной обработки для снижения сложности применяемых алгоритмов. Таким образом, исследование в данном направлении актуально.

Целью работы является разработка и обоснование строгой формальной базы экстенсивного развития онтологических структур, с целью последующего использования в построении методов и алгоритмов работы с распределенными онтологиями. Также в работе должны быть предоставлены методы реструктуризации онтологий с целью упрощения ее формальной модели.

1. Постановка задачи

С учетом цели работы, необходимо:

- проанализировать возможные варианты экстенсивного развития онтологий;
- предложить формальную модель экстенсивного развития онтологий;
- предложить общую схему представления распределенной онтологической структуры;
- предложить методы упрощения структуры.

Учитывая прикладную направленность исследований онтологий, также необходимо предложить пример практической реализации результатов исследования.

Ограничение 1. В данной статье рассматриваются непротиворечивые онтологии, т. е. все отдельные элементы онтологий, о которых будет идти речь, непротиворечивы. Данное ограничение не сужает область применения результатов данного исследования, а определяет декомпозиционный уровень их использования.

2. Графовая модель распределенной онтологической структуры

Онтология *Ont* есть пара $\langle T, A \rangle$, где T (TBox) — таксономия концептов данной онтологии и множество отношений, определенных на данной таксономии, A (ABox) — множество аксиом, основанных на заданном T [8].

Интерпретация I онтологии *Ont* есть пара $\langle \Delta^I, \bullet^I \rangle$, где Δ^I — непустое множество предметной области, и $\bullet^I$ — функция, которая присваивает каждому концепту C из T подмножество из Δ^I , каждому отношению r из T подмножество из $\Delta^I \times \Delta^I$, и каждой аксиоме a элемент из Δ^I [8].

Утверждение 1. Две онтологии эквивалентны тогда, когда их интерпретации эквивалентны.

Действительно, если некоторая предметная область разделяется одинаковым образом на классы и отношения между ними — различными онтологиями, то одна из онтологий может без ограничений быть заменена другой.

Отметим, что [8]

$$Ont_1^I \cup Ont_2^I = (Ont_1 \cup Ont_2)^I,$$

$$Ont_1^I \cap Ont_2^I = (Ont_1 \cap Ont_2)^I.$$

Всякая распределенная онтологическая структура может быть интегрирована в единое целое за счет использования отношений импорта.

Определение 1. Отношение импорта онтологий

$$RI = \text{imp}(Ont, Ont_{base}) = 1, \quad (1)$$

где Ont_{base} — импортируемая онтология, а Ont — импортирующая, есть некоторое мета-описание, утверждающее, что в рамках Ont принимаются все соглашения, действующие в Ont_{base} , здесь и далее $1 = \text{«true»} = \text{«истина»}$.

Пусть конечное множество всех RI заданных на данной онтологической структуре есть

$$MRI = \{RI_i\}, \text{ где } i=1, N. \quad (2)$$

Отметим, что:

если $\text{imp}(Ont_x, Ont_y) \cap \text{imp}(Ont_y, Ont_z) = 1$, то

$$\text{imp}(Ont_x, Ont_z) = 1; \quad (3)$$

$$RI_i \neq RI_j, \text{ если } i \neq j, \text{ где } RI_i, RI_j \in MRI \forall i, j = 1, N. \quad (4)$$

Для упрощения записи пусть

$$RI = \text{imp}(RI^-, RI^+).$$

А также пусть для некоторой онтологии Ont множество входных или импортирующих отношений — $\{RI_i\}^+$ и множество выходных — $\{RI_j\}^-$.

Отношения, полученные из (3), такие, что

$$nRI = \text{imp}(Ont_x, Ont_y) = 1, nRI \notin MRI, \quad (5)$$

будем называть неявным импортом.

Введем следующую интерпретацию графа онтологической структуры: узлы — онтологии, ориентированные дуги — отношения импорта, где начало — импортируемая онтология, конец — импортирующая онтология,

$$Struct = \langle MO, MRI \rangle, \quad (6)$$

где $MO = \{Ont_i\}$ — множество всех онтологий, входящих в структуру.

Графовая модель представления однозначно и кратко описывает распределенную онтологию, и ее выбор для решения поставленных задач очевиден.

Определение 2. Дублирующими дугами мы будем считать те дуги, отсутствие которых на графе (6) может быть в любой момент восстановлено в силу (3).

$$\text{dubl}(RI) = 1, \text{ если для } \langle MO, (MRI - RI) \rangle,$$

$$\text{imp}(RI^-, RI^+) = 1. \quad (7)$$

Определим множество импортов без дублирующих дуг

$$MRI_{elim} = MRI - \{RI_i\}, \text{dubl}(RI_i) = 1, \forall i=1, N. \quad (8)$$

Формирование множества $\{RI_i\}$ включает в себя задачу поиска наименьшего пути $\{RI_j\}$ для каждого $RI_i \in \{RI_j\}$ такого, чтобы $\text{dubl}(RI_i) = 1$. Схожие задачи решались в работах [9].

Согласно утверждению 1

$$Struct = \langle MO, MRI \rangle = \langle MO, MRI_{elim} \rangle.$$

3. Развитие онтологий

Аддитивное развитие. Для любых двух онтологий, связанных отношением импорта (1), естественно, что одна из них использует вторую как базу для построения своей структуры знаний. Создавая такую структуру, первая онтология тем самым развивает знания, хранящиеся в базовой. Такого рода развитие мы будем называть аддитивным, т. е. которое непосредственно наращивает знания.

Формально аддитивное развитие онтологий (рис. 1) есть любое импортирование, для которого верны следующие утверждения:

а) $\exists RI \in MRI_{elim}$ такое, что $RI^- = Ont$, т. е. Ont импортирует только одну онтологию;

б) Ont не содержит циклических ссылок импорта на саму себя.

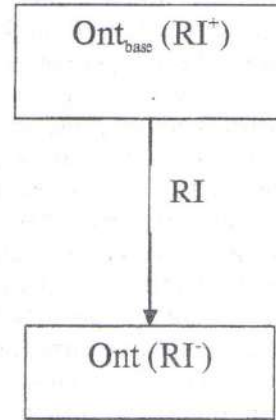


Рис. 1. Аддитивное развитие

Введем далее необходимые определения независимости элементов и множеств элементов онтологий.

Определение 3. Независимым элементом A и от элемента B онтологии Ont будем называть такой элемент, для которого верно:

$$\text{nezav}(A, B) = 1, \text{ если } A^I = \text{const}, \forall B,$$

где A^I — интерпретация данного элемента онтологии с помощью $\bullet^I$, $\forall B$ значит, что B может принимать любые значения, возможные в рамках данной онтологии.

Определение 4. Независимым множеством элементов $U = \{A_i\}$ от множества элементов $V = \{B_j\}$ онтологии Ont будем называть такое U , для которого верно:

$$\text{nezav}(U, V) = 1, \text{ если } \bigcap_i \bigcap_j \text{nezav}(A_i, B_j) = 1.$$

Итак, возвращаясь к развитию онтологий, очевидно, что элементы расширения могут не зависеть от базовой онтологии. Возможны случаи, что ни один из элементов расширения не зависит от базовой онтологии.

Определение 5. Псевдоимпорт pRI — это такой RI , что

$$pRI = RI = 1, \text{ если } \text{nezav}(RI^-, RI^+) = 1. \quad (9)$$

Утверждение 2. Связь развития вида (9) может быть элиминирована в ходе некоторых этапов анализа общей структуры со следующим условием: удаляя некоторую pRI , нужно сохранять транзитивную целостность структуры.

Действительно, удаление набора элементов, от которых не зависит ни один из элементов онтологии, никак не отразится на интерпретации этой онтологии, т. е. семантика сохранится.

Сохранение транзитивной целостности при удалении отношения вида (9) обеспечивается перенаправлением связи на все расширения онтологии pRI , у которой удаляется pRI . То есть, пусть существует удаляемая связь pRI . $\{Ont_i\}$ есть множество расширений pRI , тогда

$$MRI_{elim} = MRI - pRI + \{RI_i\}, \quad (10)$$

где $RI_i^+ = pRI$, $RI_i = Ont_i$, $\forall i=1, N$, $N = |\{Ont_i\}|$.

Тогда в общем виде, с учетом (8) и (10)

$$MRI_{elim} = MRI - \{RI_i\} - \{pRI_j\} + \{RI_{jk}\}, \\ \text{dubl}(RI_i) = 1, \forall i=1, N.$$

Детализируем уровень рассмотрения развития онтологий. Представление онтологии в виде $\langle T, A \rangle$ имеет ряд достоинств применительно к поставленным задачам, а именно:

- такая конфигурация отвечает обобщенным подходам к описанию онтологий;
- оно позволяет увеличить детализацию рассмотрения распределенной онтологической структуры, без использования сложных моделей и программных средств;
- данное представление является наглядным;
- данное представление эффективно используется в ряде уже существующих прикладных приложений [7,10].

Тогда, на более детальном уровне, аддитивное расширение базовой онтологии есть

$$Ont_{ext} = \langle T_b + T_e, A_b + A_e \rangle, \quad (11)$$

где $\langle T_b, A_b \rangle = Ont_{base}$, а $\langle T_e, A_e \rangle$ — непосредственно элементы расширения.

На практике зачастую расширение базовой онтологии (11) редуцировано и осуществляется только за счет добавления аксиом:

$$Ont_{ext} = \langle T_b, A_b + A_e \rangle. \quad (12)$$

Определение 6. Совокупность всех элементов расширения в случае (12) будем называть ресурсом Res .

Расширение онтологии с помощью ресурсов соответствует использованию базовой онтологии в качестве схемы данных.

Интеграционное развитие. Более сложным видом развития онтологической структуры, нежели аддитивное, является интеграционное. Возможность интеграции — это одно из основных требований, предъявляемых к онтологиям. Для него характерно импортирование некоторого множества базовых онтологий.

Формально интеграционное развитие онтологий (рис. 2) есть

$RI_j = 1$, $RI_j = Ont$, $RI_j^+ = Ont_{basej}$, $\forall j=1, M$, (13)
где Ont_{basej} — базовая онтология, Ont — общее расширение для всех Ont_{basej} , M — число онтологий, интегрируемых в Ont .

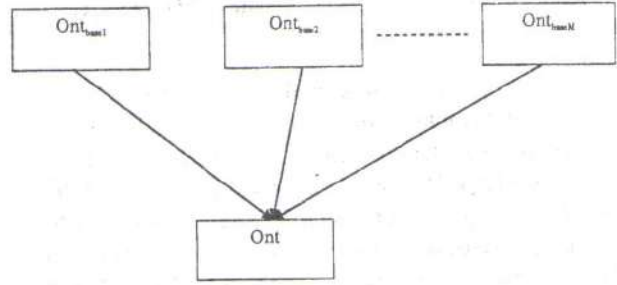


Рис. 2. Интеграционное развитие

Для упрощения записи введем множественные функции импорта

$$\text{imp}(\{Ont_i\}, Ont_b) = \text{imp}(Ont_1, Ont_b) \cap \dots \\ \dots \cap \text{imp}(Ont_M, Ont_b)$$

$$\text{imp}(Ont, \{Ont_{bj}\}) = \text{imp}(Ont, Ont_{b1}) \cap \dots \\ \dots \cap \text{imp}(Ont, Ont_{bM}).$$

Интеграционное развитие на более детальном уровне можно представить как

$$Ont_{ext} = \langle T_{b1} + \dots + T_{bM} + T_e, A_{b1} + \dots + A_{bM} + A_e \rangle,$$

причем $Ont_{basej} = \langle T_{bj}, A_{bj} \rangle$, $\forall j=1, M$, являются системно согласуемыми.

Определение 7. Системно согласуемыми онтологиями будем называть множество онтологий такое, что для него можно создать хотя бы один интегрирующий ресурс (12), содержащий хотя бы одну непротиворечивую аксиому.

Определение 8. Противоречивой аксиомой будем называть такую аксиому, которая в данных условиях эквивалентна пустому множеству.

Помимо интеграции онтологий, возможен обратный искусственный процесс — дезинтеграция.

Определение 9. Несвязанными элементами A и B онтологии Ont будем называть такие элементы, для которых верно:

$$\text{nesv}(A, B) = 1, \text{ если } \text{nezav}(A, B) \cap \text{nezav}(B, A) = 1.$$

Определение 10. Несвязанными множествами элементов $U = \{A_i\}$ и $V = \{B_j\}$ онтологии Ont будем называть такие множества, для которых верно:

$$\text{nesv}(U, V) = 1, \text{ если } \text{nezav}(U, V) \cap \text{nezav}(V, U) = 1.$$

Определение 11. Под дезинтеграцией элемента онтологической структуры мы будем понимать

$$Ont = \bigcup_i Ont_i, \bigcap_{i,j} \text{nesv}(Ont_i, Ont_j) = 1, \\ \forall i, j=1, N, i \neq j, \quad (14)$$

где $Ont_i, Ont_j \in \{Ont_k\}$, $\{Ont_k\}$ множество онтологий, на которые распадается Ont .

Возвращаясь к графовой модели, дезинтеграция — есть ничто иное, как разделение некоторого узла на множество узлов.

Тогда (14) для (6) это:

$$\begin{aligned} Struct = & \langle (MO - Ont + \{Ont_k\}), \\ & (MRI + imp(Ont_k, \{RI_i\}^+) + imp(\{RI_j\}^-, Ont_k)) \rangle, \\ & \forall i, j, k. \end{aligned} \quad (15)$$

Для (15) характерно наличие псевдоимпортов среди вновь добавленных дуг.

После дезинтеграции могут возникать некоторые узлы Ont_x и Ont_y , такие, что $\{RI_i\}^+_x = \{RI_i\}^-_y$ и $\{RI_j\}^+_x = \{RI_j\}^-_y$, $\forall i, j$, т. е. структуры, для которых одинаковы все базовые и все развивающие онтологии. Такие узлы мы не будем рассматривать как различные.

Совместное развитие. Совместное развитие (рис. 3) является важной особенностью онтологических структур. В таком развитии отсутствует иерархия, т. е. каждая из двух онтологий является друг для друга, как базовой, так и расширением.

$$imp(Ont_x, Ont_y) \cap imp(Ont_y, Ont_x) = 1, \quad (16)$$

где Ont_x, Ont_y — совместно развиваемые онтологии.

Замечание 1. Заметим, что пространственно существуют две различные онтологические подструктуры Ont_1 и Ont_2 , но всегда, кроме случаев использования (14), они семантически неразделимы и являются некоторой обобщенной структурой.

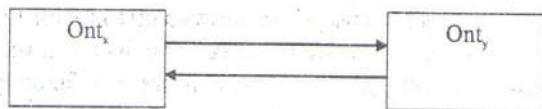


Рис. 3. Совместное развитие

Совместно развиваемые онтологии не ограничиваются наличием только двух подструктур. Они могут состоять из цикла любой длины:

$$Ont_{joint} = \{Ont_l\}, \quad \forall l=1, L, \quad (17)$$

где Ont_{joint} — общая онтологическая структура, Ont_l — элемент, принадлежащий некоторому замкнутому пути импортов, L — общая длина цикла, при чем $imp(Ont_i, Ont_{i+1}) = 1, \forall i=1, L-1$, и $imp(Ont_L, Ont_1) = 1$.

Теорема 1. О вхождении элемента в цикл (необходимая и достаточная). Некоторое расширение Ont онтологической структуры входит в некоторое совместное развитие Ont_{joint} (17), тогда и только тогда, когда $imp(Ont, Ont) = 1$, т. е. Ont является для себя же базовой.

Доказательство необходимости. Пусть существует некоторая Ont_{joint} (17). Предположим, что $imp(Ont_1, Ont_1) = 0$. Но в силу (3)

$$(\cap imp(Ont_i, Ont_{i+1})) \cap imp(Ont_L, Ont_1) = 1,$$

следовательно $imp(Ont_1, Ont_1) = 1$.

Получаем противоречие. Следовательно Ont_1 является для себя базовой.

Доказательство достаточности. Пусть

$$imp(Ont, Ont) = 1 \text{ и } Ont \neq \emptyset.$$

Предположим, что Ont не входит ни в один из циклов онтологии. Тогда множества импортируемых и импортирующих элементов не пересекаются: $\{Ont_i\}^+ \cap \{Ont_j\}^- = \emptyset$. Но в силу (3) предположения $imp(Ont, Ont) = 1$, $Ont \in \{Ont_i\}^+$ и $Ont \in \{Ont_j\}^-$. Следовательно $\{Ont_i\}^+ \cap \{Ont_j\}^- \supseteq Ont$. Имеем противоречие. Следовательно Ont входит по крайней мере в один из циклов онтологии. Теорема доказана.

Учитывая замечание 1, предлагается два подхода к упрощению циклов:

а) при возможности эффективного использования дезинтеграции (14) — разрывать цикл;

б) не теряя общности, рассматривать цепочку онтологических расширений в качестве единой структуры, заменяя при этом цикл узлом, сохраняя при этом все связи импорта (1), не входящие в цепочку. Тогда для (6) это

$$\begin{aligned} Struct = & \langle \\ & (MO - \{Ont_l\} + Ont_{joint}), \\ & (MRI - \{RI_i\}^+_1 - \{RI_j\}^-_1 + imp(\{RI_j\}^-, Ont_{joint}) + \\ & imp(Ont_{joint}, \{RI_i\}^+_1)) \rangle, \end{aligned} \quad (18)$$

где запись $\{RI_i\}^+_1$ — множество онтологий, которые импортирует l -я онтология цикла, $\{RI_j\}^-_1$ — множество онтологий, которые импортируют l -ю онтологию цикла.

Комплексное развитие и реструктуризация онтологий. Комплексное развитие онтологических структур является сложнейшим из экстенсивных развитий и содержит одновременно все черты ранее описанных. Очевидно, что большинство распределенных онтологий развиваются комплексно, и поэтому такой вид развития требует особого внимания.

Итак выше уже был предложен ряд механизмов упрощения и преобразования онтологических структур, а именно:

- элиминация дублирующих импортов (8);
- элиминация псевдоимпортов (10);
- дезинтеграция структур (14);
- разрыв циклов (14);
- преобразование циклов в точку (18).

Выполняя данные преобразования над комплексно развитой онтологией, мы получаем упрощенную онтологическую структуру без циклов и с более информативным набором импортов. Расширение Ont в такой упрощенной структуре можно представить следующим образом

$$Ont = \langle T, A, \{Ont_{base}\} \rangle, \quad (19)$$

где $imp(Ont, \{Ont_{base}\}) = 1$.

Онтологию, для которой $\{Ont_{base}\} = \emptyset$, мы будем называть базовой нулевого уровня импорта.

Уровень импорта будем определять, как максимальную длину пути на графе от данного расширения до самой дальней базовой онтологии нулевого уровня.

Например (рис. 4), в прямоугольниках обозначены уровни импорта для каждого элемента структуры.

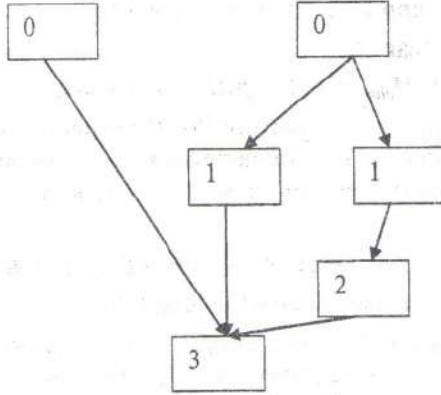


Рис. 4. Пример графа онтологической структуры

4. Развитие нечетких онтологий

Замечание 2. В данном разделе все онтологии и все множества являются нечеткими, если нет утверждения об обратном.

На сегодняшний день все больше исследований обращается к работе с нечеткими онтологиями [11 – 13]. В разрезе рассмотрения распределенных онтологических структур возникает задача работы с нечеткими импортами.

Определение 12. Нечетким импортом RI_f мы будем называть такой импорт RI , для которого определена функция принадлежности μ_{RI} [11, 14], которая интерпретируется как коэффициент уверенности в существовании четкого RI :

$$RI_f = \langle RI, \mu_{RI} \rangle. \quad (20)$$

Прямое введение связей вида (20) не характерно при создании распределенных онтологий. Определимся с причинами их возникновения. Нечеткий импорт может выявляться в ходе анализа структуры на предмет pRI (9).

Например, пусть некоторая аксиома A , где АО Ont_i задана с использованием элементов Ont_{base} . Если для A определена некоторая функция принадлежности μ_A и в то же время A является единственным элементом, ссылающимся на Ont_{base} , то мы имеем $RI_f = \langle imp(Ont, Ont_{base}), \mu_A \rangle$.

Утверждение 3. Функция принадлежности μ_{RI} из (20) есть максимальное значение функций принадлежности $\mu(X, Y)$

$$\mu_{RI} = \mu_{RI}(RI^-, RI^+) = \max(\max(\mu(X_i, Y_j))), \quad (21)$$

где $RI^- = \{X_i\}$, $RI^+ = \{Y_j\}$, $\mu(X, Y)$ — функция принадлежности некоторого отношения между X и Y .

Действительно, если хотя бы один из элементов X имеет четкую ссылку на Ont_{base} , то мы имеем дело с четким импортом, в то время как, если все ссылки нечеткие, то уверенность в данном импорте соответствует максимальной уверенности в существовании одной из этих ссылок.

Фактически

$$\mu_{RI} = 1 - \text{nezav}_f(RI^-, RI^+), \quad (22)$$

$$\text{nezav}_f(U, V) = \bigcap_i \bigcap_j \text{nezav}_f(A_i, B_j),$$

$$\text{nezav}_f(A, B) = 1 - \mu(A, B).$$

Отметим, что краткой записью μ_{RI} мы будем подразумевать функцию принадлежности для явно заданного импорта RI , в то время как полная запись $\mu_{RI}(Ont_i, Ont_2)$ может быть использована и для неявных импортов nRI .

Функции принадлежности транзитивных отношений на нечетких графах могут быть рассчитаны следующим образом [15]

$$\mu_R(x, z) = \max_y (\min(\mu_R(x, y), \mu_R(y, z))) \quad (23)$$

или в нашем случае x, y, z равны Ont_1, Ont_2, Ont_3 соответственно,

$$\mu_{RI}(Ont_1, Ont_3) =$$

$$\max_{Ont_2} (\min(\mu_{RI}(Ont_1, Ont_2), \mu_{RI}(Ont_2, Ont_3))). \quad (24)$$

Для решения задачи в общем виде, пусть

$$\mu_{RI}(Ont, Ont) = 1. \quad (25)$$

Элиминация импортов (8) в нечеткой онтологической структуре имеет некоторые особенности, учитывающие (24). Расширим функцию $\text{dubl}(RI)$ до нечеткой $\text{dubl}(RI_f)$

$$\text{dubl}_f(RI_f) = 1, \text{ если } \mu_{RI} \leq \mu_{RI}(RI^-, RI^+). \quad (26)$$

Рассмотрим (14, 15) в условиях нечеткости. Несвязность нечетких множеств (Определение 10) в нечеткой онтологии выражается функцией $\text{nesvf}(U, V) \in [0, 1]$. Тогда

$$Ont = \bigcup_i Ont_i, \quad \bigcap_i \bigcap_j \text{nesvf}(Ont_i, Ont_j) = \alpha, \\ \forall i, j = 1, N, i \neq j, \quad (27)$$

где $\alpha \in [0, 1]$ — пороговый уровень несвязности.

Рассмотрим (18) в условиях нечеткости. В нечеткой онтологии объединение узлов происходит аналогично с четким объединением, только с пос-

ледующим применением (21) на результирующий набор MRI .

Таким образом, реструктуризация нечеткой онтологической структуры осуществляется аналогично реструктуризации четкой, но с учетом особенностей (21 – 27).

5. Особенности практической реализации

Результаты теоретических исследований предлагается апробировать на онтологиях, предложенных для соревнований по интеграции онтологий на «Третьем симпозиуме оценки средств, базированных на онтологиях» [16]. Предметной областью этих онтологий является библиографическая информация.

Для примера выбрана одна из представленных онтологий $ont = \langle \text{http://visus.mit.edu/bibtex/0.01/bibtex.owl} \rangle$, которая является онтологическим аналогом известного библиографического формата bibTeX. В ont импортируется следующий набор онтологий:

units = $\langle \text{http://visus.mit.edu/fantomri/0.01/units.owl} \rangle$
foaf = $\langle \text{http://xmlns.com/foaf/0.1} \rangle$
rdf = $\langle \text{http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns} \rangle$
xsd = $\langle \text{http://www.w3.org/2001/XMLSchema} \rangle$
rdfs = $\langle \text{http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema} \rangle$
owl = $\langle \text{http://www.w3.org/2002/07/owl} \rangle$
wot = $\langle \text{http://xmlns.com/wot/0.1} \rangle$
dc = $\langle \text{http://purl.org/dc/elements/1.1} \rangle$
dcterms = $\langle \text{http://purl.org/dc/terms} \rangle$
dctype = $\langle \text{http://purl.org/dc/dcmitype} \rangle$
bibtex = $\langle \text{http://purl.org/net/nknouf/ns/bibtex} \rangle$

Тогда в соответствии с (1) можем записать:

$\text{imp}(ont, \{\text{units, foaf, rdf, xsd, rdfs, owl, wot, dc, dcterms, dctype, bibtex}\}) = 1$.

Анализируя импорты каждой из импортируемых онтологий, построим графовую структуру (6) (рис. 5)

$Struct = \langle \{\text{xsd, rdf, rdfs, owl, dc, dcterms, dctype, foaf, vs, wot, bibtex, units, ont}\}, MRI \rangle$.

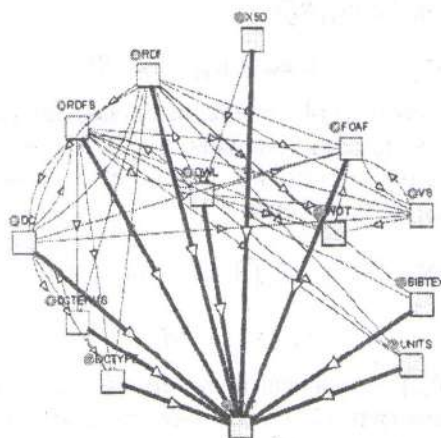


Рис. 5. Структура импортов

Очевидно, что данная структура импортов громоздкая и требует упрощения.

Найдем для $Struct pRI$ (9). Анализ показал, что:

$pRI_1 = \text{imp}(ont, \text{bibtex})$,
 $pRI_2 = \text{imp}(ont, \text{units})$,
 $pRI_3 = \text{imp}(ont, \text{dctype})$.

Тогда в соответствии с (10)

$MRI_{elim} = MRI - pRI_1 - pRI_2 - pRI_3 +$

$\text{imp}(ont, \{\text{rdf, rdfs}\}) + \text{imp}(ont, \{\text{rdf, rdfs, owl}\}) +$
 $\text{imp}(ont, \{\text{rdf, rdfs, dc, dcterms}\})$.

Учитывая (4)

$MRI_{elim} = MRI - pRI_1 - pRI_2 - pRI_3$.

Принимая во внимание то, что вершины графа $dctype$, $bibtex$ и $units$ имеют только входные дуги, а мы работаем с вершиной ont , будем работать с подграфом

$Struct_1 = \langle MO - \text{bibtex} - \text{units} - \text{dctype}, MRI \rangle$.

Свернем наименьшие циклы (18):

$Ont_{joint1} = \{\text{foaf, vs}\}$, $Ont_{joint2} = \{\text{dc, dcterms}\}$,
 $Ont_{joint3} = \{\text{rdf, rdfs}\}$, $Ont_{joint4} = \{\text{rdfs, owl}\}$,
 $Ont_{joint5} = \{\text{dc, rdf}\}$ и $Ont_{joint6} = \{\text{dc, rdfs}\}$.

После операции сворачивания циклов на графе образуются новые циклы, тогда повторяем операцию до тех пор, пока она вносит изменения в граф.

$MO_2 = \{\text{base}_{joint}, \text{int}_{joint}, \text{xsd}, \text{dctype}, \text{ont}\}$,

где $\text{base}_{joint} = \{\text{rdf, rdfs, owl, dc, dcterms}\}$, $\text{int}_{joint} = \{\text{vs, foaf, wot}\}$.

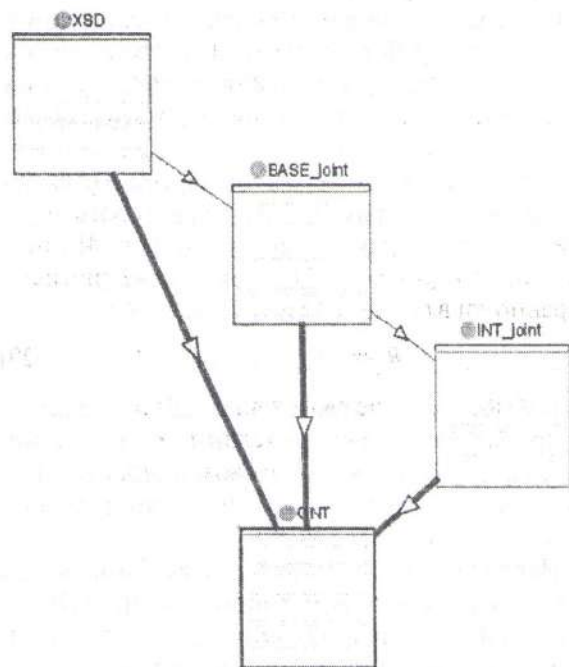


Рис. 6. Структура после частичного упрощения

Теперь выполняя операцию (8), завершим упрощение структуры (рис. 6). В итоге имеем полностью упрощенную структуру (рис. 7):

$Struct_4 = \langle \{xsd, base_{joint}, int_{joint}, ont\}, \{imp(ont, int_{joint}), imp(int_{joint}, base_{joint}), imp(base_{joint}, xsd)\} \rangle$.

Полученная структура содержит исключительно аддитивный тип развития, который является наиболее простым. Очевидно, что она значительно проще исходной.

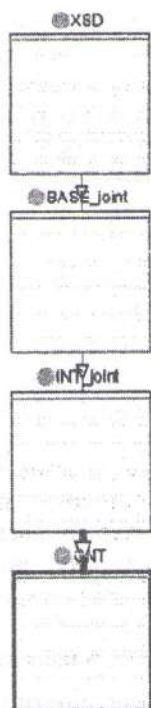


Рис. 7. Полностью упрощенная структура

Заключение

В данной статье:

- впервые предложена формальная модель экстенсивного развития онтологических структур, базирующаяся на трех основных типах развития онтологий, которая позволяет алгоритмически упрощать существующие структуры;

- впервые рассмотрены отношения нечеткого импорта онтологий, что является важным аспектом прикладного применения нечетких онтологий;

- впервые предложена формальная схема упрощения распределенной онтологии;

- получили дальнейшее развитие модели представления онтологических структур, что способствовало разработке новых методов оценки сложности онтологии;

- приведен пример использования предложенных механизмов упрощения сложной онтологической структуры.

Аналитическую обработку предлагается производить на двух уровнях декомпозиции структур.

Результаты данной работы могут быть использованы при автоматизации процессов в распределенных онтологических структурах. Формальная модель экстенсивного развития онтологии приме-

нима в системах, обеспечивающих ее функционирование, а также непосредственно развитие.

Дальнейшими этапами исследований в данном направлении могут быть:

- рассмотрение случаев внутренней противоречивости отдельных элементов онтологической структуры;

- анализ интенсивных этапов развития онтологии;

- разработка функциональных алгоритмов упрощения онтологических структур;

- разработка оценочных критериев связности онтологий,

- разработка подходов к определению порогов для нечетких функций.

Список литературы: 1. Gruber, T. Ontolingua: A mechanism to support portable ontologies // Technical report, Technical Report KSL91-66, Stanford University, Knowledge Systems Laboratory. 1992. <http://citeseer.ist.psu.edu/gruber92ontolingua.html> (03.01.2005) 2. Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. The Semantic Web // Scientific American, 2001. P.34–43. 3. Heflin, J.D. Towards the semantic web: knowledge representation in a dynamic, distributed environment // PhD thesis, University of Maryland, 2001. 137 p. 4. Sowa, J. F. Building, Sharing, and Merging Ontologies // 2001, <http://www.jfsowa.com/ontology/ontoschar.htm> (08.12.2005) 5. Noy N. F., Sintek M., Decker S., Crubezy M., Ferguson R. W., Musen M. A. Creating Semantic Web Contents with Protege-2000 // IEEE Intelligent Systems, 2001, 16(2). P. 60–71. 6. Noy N. F., Musen M. A. PROMPT: Algorithm and Tool for Automated Ontology Merging and Alignment // Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2000), Austin, TX, 2000. <http://dit.unitn.it/~p2p/RelatedWork/Matching/SMI-2000-0831.pdf> (03.01.2005) 7. Hustadt U., Motik B., Sattler U. Reasoning in Description Logics with a Concrete Domain in the Framework of Resolution // Proc. of the 16th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI 2004), August, 2004, Valencia, Spain, pp. 353–357. 8. Specification of Coordination of Rule and Ontology Languages // Technical Report. IST Project IST-2004-507482, June 2004. http://dl-web.man.ac.uk/~panz/Zhilin/paper.php?epdf=PFTS*04 (15.12.2005) 9. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход // Москва, 1978. — 432 с. 10. Sirin E., Parsia B., Grau B. C., Kalyanpur A., and Katz Y. Pellet: A practical owl-dl reasoner. // <http://www.mindswap.org/papers/PelletJWS.pdf> (08.12.2005). 11. Кучеренко Е.И., Павлов Д.А. Некоторые аспекты анализа развития нечетких онтологий. // Искусственный интеллект. Донецк. 2005. — С. 162–169. 12. Straccia U. Towards a Fuzzy Description Logic for the Semantic Web // 2nd European Semantic Web Conference, 2005. — P. 167–181. 13. Mazzieri M. A. Fuzzy RDF Semantics to Represent Trust Metadata // Proceedings of the Workshop Fuzzy Logic and the Semantic Web, Marseille, February 11, 2005. <http://semanticweb.deit.univpm.it/swap2004/cameraready/mazzieri.pdf> (03.01.2006) 14. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // Information and Control, 8(3). 1965. — P. 338–353. 15. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. М: Радио и связь, 1982. — 432 с. 16. EON Ontology Alignment Contest // <http://oei.inrialpes.fr/2004/Contest/> (29.12.2005).

Поступила в редколлегию 17.11.2005

УДК 519.711

С. Ф. Чалый, А. Ю. Кальницкая

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ЗНАНИЕ-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПОСТРОЕНИЮ ОПИСАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Введение

Процессный подход к управлению является достаточно новым для украинских предприятий. В то же время ряд ведущих зарубежных фирм с успехом применяет процессный подход к управлению предприятием в течение довольно длительного времени. Такой подход позволяет комплексно подойти к управлению организацией. В особенности это целесообразно, когда речь идет о расширении ее деятельности.

Применение процессного подхода приводит к повышению эффективности работы предприятия, выявлению новых возможностей при работе с партнерами.

Рассматривая возможность внедрения указанного подхода для предприятий различного вида деятельности, следует отметить некоторые общие закономерности.

Процессный подход к управлению базируется на таких основных понятиях как бизнес-процесс и сеть процессов. Как деятельность организации в целом, так и отдельные последовательности операций, можно рассматривать как бизнес-процесс, в зависимости от уровня детализации. Таким образом, всю деятельность предприятия целесообразно представить как сеть взаимосвязанных процессов. Под процессом, в данном случае, следует понимать совокупность взаимосвязанных видов деятельности, которая по определенной технологии преобразует входы и выходы, представляющие ценность для потребителя. В свою очередь, под сетью бизнес-процессов будет подразумеваться совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих процессов на предприятии, включающих в себя все виды деятельности, осуществляемой предприятием. Такой подход позволяет все без исключения виды деятельности предприятия рассматривать как отдельные бизнес-процессы вне зависимости от их назначения.

Следует отметить, что работы большинства как зарубежных, так и авторов из СНГ, (Р. Б. Фергюсон, С. В. Фирстов, Ю. В. Ипатов) [1,2,3] не отражают специфики протекания бизнес-процессов на предприятиях Украины. Эта специфика определяется функциональной структуризацией предприятия и во многих случаях неформальным распределением или перераспределением функций между подразделениями предприятия, изменяющимися с течением времени. Особенности построения описания и регламентации сети бизнес-процессов с

учетом специфики функционирования предприятий СНГ рассматриваются в работе В. Г. Елиферова и В. В. Репина [4]. В соответствии с предложенным в работе [4] подходом выполняется привязка процессов к функциональным подразделениям предприятия. Выделение процессов на основе подразделений организации и дальнейшая стыковка процессов между собой позволяют добиться «реальности» процессов. Соответственно, при предлагаемом подходе необходимо построить описание организационной структуры предприятия, и бизнес-процессы рассматривать в связи с этой структурой. Именно поэтому описание процессов организации начинается с описания процессов, выполняемых структурными подразделениями.

Вместе с тем, технология, предложенная в этих работах, не учитывает вопросы описания бизнес-процессов, изменяющихся во время выполнения на основе знаний о предметной области.

1. Постановка задачи

Рассмотрим особенности реализации процессов, изменяющихся при выполнении на основе знаний о предметной области, на примере хозяйственных и гражданских юридических процессов. Такие бизнес-процессы обычно определяются законодательным (установленным законом) порядком рассмотрения гражданских, хозяйственных и иных споров в суде, в связи с чем имеют ряд общих элементов. Наличие указанных элементов позволяет на основе выделения шаблонных схем последовательностей операций процесса формализовать его реализацию. Отметим, что для юридических процессов характерна проблема перестройки либо реинжиниринга процессов при изменении законодательства в процессе их выполнения. Указанные изменения определяются на основе знаний предметной области, в частности, знания законов и подзаконных актов. В тоже время юридические процессы характеризуются большой длительностью протекания — это могут быть месяцы или даже годы. Таким образом, актуальной является проблема изменения бизнес-процессов во время их выполнения на основе знаний об изменениях в действующем законодательстве.

Решение рассматриваемой проблемы предполагает разработку, основанной на знаниях модели построения бизнес-процессов, которая учитывала бы ограничения, связанные с изменениями действующего законодательства.

Соответственно, решение проблемы описания бизнес-процессов во время выполнения на основании знаний о предметной области предполагает решение следующих задач:

- выделение основных и вспомогательных бизнес-процессов;
- разработка шаблонов типовых вариантов протекания бизнес-процессов;
- разработка модели представления знаний об изменяющихся бизнес-процессах;
- разработка модели построения описания бизнес-процессов, изменяющихся на основе знаний.

2. Разработка модели построения описания бизнес-процессов, изменяющихся на основе знаний

Построение описания бизнес-процессов требует создания шаблонов типовых вариантов протекания процессов. Разработка шаблонов базируется на выделении процессов, протекающих на предприятии, и классификацию их по степени значимости. Для построения шаблонов процессов выделим в соответствии с предложенной в работе [4] методикой основные и вспомогательные процессы. Результаты классификации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Процесс	Тип
1 Составление юридических документов	основной
2 Проведение юридических консультаций	основной
3 Участие в хозяйственном процессе	основной
4 Участие в гражданском процессе	основной
5 Проведение семинаров-разъяснений изменений в законодательстве	основной
6 Бухгалтерский учет хозяйственной деятельности юридического предприятия	вспомогательный
7 Управление финансами	вспомогательный
8 Кадровое обеспечение	вспомогательный

Подробный анализ деятельности позволяет сформировать типовой шаблон бизнес-процессов юридической фирмы.

Этот шаблон представляет собой общую характеристику протекания процессов на предприятии. Нужно отметить, что основные процессы 1, 3, 4, представленные в табл. 1, содержат аналогичные бизнес-процедуры. Предложенный шаблон обобщает эти процессы и позволяет объединить их в одну модель.

В качестве входных данных согласно шаблону (рис. 1) используются документы и сведения, полу-

ченные от заказчиков. Первая бизнес-процедура заключается в изучении входных данных с целью — выяснить, что нужно заказчику. Следующий этап предполагает подробное изучение изменений действующего законодательства с момента рассмотрения последнего идентичного дела, содержащих сведения, которые необходимо учитывать при решении возникшей задачи. Та или иная задача, поставленная заказчиком, может предполагать несколько вариантов решения, а, следовательно, состоять из определенного набора действий, соответствующего выбранному варианту. Таким образом, следующая бизнес-процедура заключается в построении схемы процесса подготовки к рассмотрению дела. Ее основная цель состоит в выборе наиболее оптимальных действий для выполнения бизнес-процесса. После того как схема процесса подготовки к рассмотрению дела построена, необходимо сформировать исходную документацию для рассмотрения дела в соответствии с требованиями заказчика.

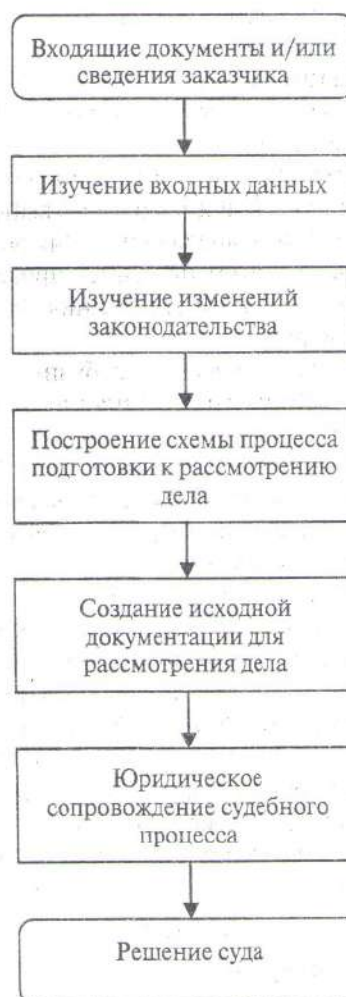


Рис. 1. Типовой шаблон юридических бизнес-процессов

Юридическое сопровождение судебного процесса является следующим этапом протекания биз-

нес-процесса. Суть юридического сопровождения состоит в том, что юрист выполняет всю текущую работу с документами (сдает их в канцелярию суда, получает определения и решения и т. д.), присутствует в судебных заседаниях вместе с клиентом, а иногда и вместо него. В качестве выхода процесса заказчик получает решение суда. Цель, которая должна быть достигнута в результате выполнения процесса — решение суда в пользу заказчика.

Представленные в шаблоне операции позволяют стандартизировать описание основных бизнес-процессов юридической фирмы. Технология заполнения шаблона зависит в первую очередь от разновидности процесса.

При построении описания юридических процессов на базе предложенного шаблона необходимо учитывать следующие их особенности:

- процессы могут периодически изменяться в соответствии с изменениями в действующем законодательстве или согласно требованиям клиентов;
- ряд необязательных бизнес-процедур, которые могут быть задействованы частично или исключены (заменены другими);
- правила выбора необязательных бизнес-процедур могут меняться непосредственно при реализации бизнес-процесса.

Указанные особенности бизнес-процессов характеризуют их изменения во время выполнения и требуют построения модели описания бизнес-процессов. Сформулируем на основе проведенных в работе [5] исследований требования, предъявляемые к такой модели:

- 1) возможность перестройки бизнес-процессов при их выполнении на основе знаний об изменениях в законодательстве;
- 2) использование знаний о построении бизнес-процессов представлено в виде набора правил;
- 3) структура модели должна отражать основные характеристики бизнес-процессов.

Таким образом, построение описания процессов связано с формированием модели представления знаний в виде совокупности правил, описывающих знания о построении бизнес-процессов в данной предметной области. Такие правила представлены в виде набора: «цель — условия начала выполнения процесса — процесс». Тогда формирование наборов правил можно описать следующим образом. Пусть R — набор правил, представленный в виде кортежа

$$R = \langle A, C, P \rangle,$$

где A — множество целей,

$$A = \{a_1, \dots, a_n\};$$

C — множество условий начала выполнения процесса,

$$C = \{c_1, \dots, c_m\};$$

P — множество процессов,

$$P = \{p_1, \dots, p_l\}.$$

Цель a_n для любого процесса p_l может быть достигнута только при выполнении условия c_m . И наоборот, если цель a_n достигнута при условии c_m , значит, выполнен процесс p_l .

Под целью понимают достижение результатов определенного бизнес-процесса. Таким образом, в результате выполнения одного бизнес-процесса будет достигнута одна определенная цель. Однако, в некоторых случаях для достижения одной цели, возможно, понадобится завершить несколько бизнес-процессов. В данной ситуации необходимо ввести понятие иерархической структуры целей, которое будет рассматриваться в дальнейших работах.

Условие служит связующим звеном между целью, которую необходимо достичь, и бизнес-процессом.

Предложенное представление знаний позволяет создать модель построения описания бизнес-процессов с использованием знаний (рис. 2).

На рис. 2 изображена функциональная модель построения бизнес-процессов на основе представленного выше типового шаблона. Указанная модель предполагает заполнение типовых элементов процесса. Процедура заполнения выполняется на основе шаблонов верхнего уровня представленного процесса после предварительного рассмотрения организационной структуры предприятия. Изучение организационной структуры необходимо для выявления типа процесса.

Следующее действие в соответствии с шаблоном — формирование перечня возможных подпроцессов на основании правил для текущего этапа основного процесса. Таким образом происходит отбор подпроцессов, которые могут включать в себя рассматриваемый процесс. Кроме перечня подпроцессов необходимо также сформировать обобщенный перечень целей, которых возможно достичь при реализации процессов. На следующем этапе работы необходимо выделить из модели знаний подпроцессы, которые можно реализовать, в зависимости от целей согласно правилам. Также необходимо провести анализ условий выполнения процессов. После проверки условий можно осуществлять запуск процессов, для которых эти условия выполняются и позволяют достичь поставленной цели. Заключительный этап предполагает переход к рассмотрению следующего шаблона построения процессов.

Разработанная модель позволяет формировать составляющие бизнес-процессов в зависимости от условий их выполнения и конечных целей, которых необходимо достичь. Это возможно как в начале, так и во время протекания процесса. Кроме того, модель дает возможность пополнять уже существующие

ющий перечень подпроцессов и целей новыми данными и на основании этих данных анализировать условия выполнения процессов.

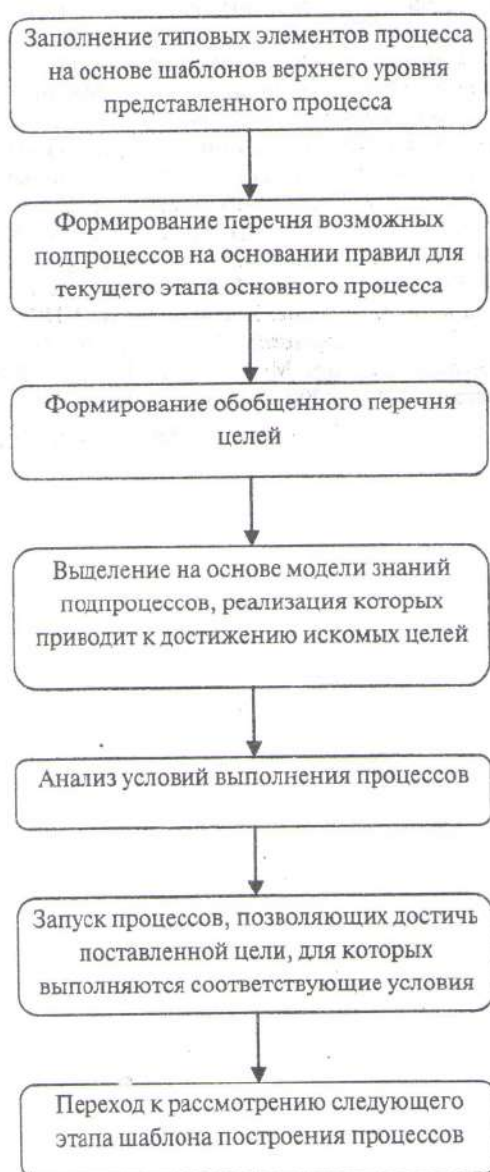


Рис. 2. Модель построения бизнес-процессов

Таким образом, для построения описания и реализации бизнес-процессов необходимо разработать типовой шаблон бизнес-процессов и модель в виде набора правил, по которым шаблон преобразуется в реальном процессе.

В табл. 2 представлена зависимость набора «цель — условия начала выполнения процесса — процесс» от бизнес-процедур (рис. 1) на примере процессов: P_1 — составление юридических документов; P_3 — участие в хозяйственном процессе; P_4 — участие в гражданском процессе.

Для выполнения каждой бизнес-процедуры необходимо выделить цель, условие, при котором данная цель может быть достигнута, и процесс, в кото-

ром выполняется эта процедура. Таким образом, с каждым этапом шаблона связана определенная цель, которая достигается при выполнении отдельной бизнес-процедуры. Условия, при которых возможно выполнение каждой бизнес-процедуры, в некоторых случаях могут быть одинаковыми, но, как правило, они различны. Также, в ряде случаев, условия могут быть необязательными, и наоборот. Возможны также варианты протекания бизнес-процессов, когда условия и цели отдельных бизнес-процедур могут конфликтовать друг с другом. В таких случаях необходимо уточнить цель и привести ее в соответствие с условиями, поскольку именно они в основном зависят от законодательства и являются обязательными. В противном случае, достижение цели становится невозможным, а бизнес-процесс — невыполнимым.

Таблица 2

Бизнес-процедуры	Цель, условия запуска процесса, процесс	
Изучение входных данных	Цель	Выяснить требования заказчика.
	Условие	Четкие, достоверные сведения от заказчика. Правомерные документы (т. е. не пропущены сроки исковой давности и т. д.)
	Бизнес-процесс	P_1, P_3, P_4
Изучение изменений законодательства	Цель	Выделить изменения в действующем законодательстве, касающиеся вопроса заказчика
	Условие	Четкие, достоверные сведения от заказчика. Правомерные документы
	Бизнес-процесс	P_1, P_3, P_4
Построение схемы процесса подготовки к рассмотрению дела	Цель	Выбрать действия, необходимые для успешного прохождения и завершения бизнес-процесса
	Условие	Требования заказчика должны быть в рамках закона
	Бизнес-процесс	P_1, P_3, P_4
Создание исходной документации для рассмотрения дела	Цель	Создать документ с учетом действующего законодательства и требованиями заказчика
	Условие	Учесть законодательство и требования заказчика
	Бизнес-процесс	P_1, P_3, P_4
Юридическое сопровождение судебного процесса	Цель	Обеспечить юридическое сопровождение судебного процесса
	Условие	Требования заказчика, интересы фирмы
	Бизнес-процесс	P_3, P_4

Заключение

В статье рассмотрены вопросы построения описания, изменяющихся в процессе выполнения бизнес-процессов. Предложена модель представления знаний о бизнес-процессах. Данная модель детализована в виде: «цель — условия запуска процесса — процесс». Разработанная модель позволяет влиять на протекание бизнес-процессов в зависимости от условий их выполнения и конечных целей, которых необходимо достичь.

На базе модели представления знаний разработана модель построения и корректировки описания бизнес-процессов во время их выполнения. Модель функционирует на основе знаний и учитывает изменения ограничений, накладываемых на процессы. Рассмотрено применение данной модели для юридических процессов. Предложенная модель позволяет реализовать многоуровневую систе-

мушаблонов юридических процессов на основе знаний об изменениях, вносимых в законодательство.

Список литературы: 1. Фергюсон Р. Б. Модель связывает процессы. // www.rcweek.ru 2. Фирстов С. В. Анализ информационных потоков предприятия с помощью продуктов CA UNICENTER TNG. // Ежегодный международный семинар «Управление информационной инфраструктурой современной организации». — Магнитогорск: www.corisys.ru Пресс-релиз. 2004. 3. Инагов Ю. В. Информационная структура крупного предприятия на разных стадиях жизненного цикла информационных систем. // Ежегодный международный семинар «Управление информационной инфраструктурой современной организации». — Магнитогорск: www.corisys.ru Пресс-релиз. 2004. 4. Елиферов В. Г., Репин В. В. Бизнес-процессы: Регламентация и управление: Учебник. — М.: ИНФРА-М, 2004. — 319 с. 5. Papavassiliou G., Mentzas G., Abecker A. Integrating Knowledge Modelling in Business Process Management. // ECIS 2002 June 6–8, Gdansk, Poland.

Поступила в редакцию 03.11.2005

УДК 681.3.06

В.И. Каук, Г.В. Слободырев

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ XML-ПАРСЕРОВ

1. Введение

В последние годы консорциум W3C очень интенсивно работал над спецификациями XML, были существенно изменены и доработаны многие из них, добавлено большое количество новых. В связи с этим, разработка приложений, поддерживающих в полном объеме рекомендации W3C, стала очень непростой задачей. Это привело к тому, что на рынке приложений для анализа XML-документов наметилась некоторая стабилизация: количество компаний, предлагающих в данный момент полнофункциональные процессоры XML, не так уж и велико. Среди них можно выделить следующие: IBM, Microsoft, Oracle, Ginger Alliance Ltd, Sun. Есть также некоторое количество инструментов, разработанные отдельными людьми, например, Patrice Bonhomme, James Clark. При этом, даже у перечисленных производителей процессоры имеют значительные отличия, не следуя в полном объеме рекомендациям консорциума. Из этого можно сделать вывод, что в ближайшее время могут появляться скорее новые версии этих процессоров, а не новые программные продукты. Остальные же приложения для работы с XML-документами будут использовать какие-либо из этих парсеров. В то же время было предпринято немало попыток сделать подобные приложения и другими фирмами, но уже на данный момент многие из этих проектов закрыты и процессоры больше не поддерживаются.

2. Постановка задачи

Динамическое развитие информационных технологий, ориентированных на работу с XML, предоставляет качественно новые возможности обработки XML-документов и способствует быстрому и удобному созданию ресурсов в сети Интернет. В связи с этим, возникает необходимость написания своего собственного XML-процессора, под конкретные цели проекта. Такая необходимость может привести к приличным затратам времени и средств. На данный момент уже существует достаточно парсеров, и следовательно можно выбрать наиболее подходящий для данного проекта парсер. Единственное, что нужно сделать, это выдвинуть четкие требования к парсеру. На данный момент наиболее часто используемыми парсерами являются, по-видимому, парсеры IBM и James Clark. В последнее время очень серьезные усилия направила на разработку процессора XSLT корпорация Microsoft. Последний вариант ее MSXML показывает очень хоро-

шие результаты как по производительности, так и по соответствию последним рекомендациям W3C. Поэтому для определения эталонного парсера (парсера, который соответствует рекомендациям W3C) необходимо выработать методологию тестирования парсеров по определенным параметрам и разработать программно-инструментальное средство для тестирования существующих парсеров.

3. XML-парсеры

В последние годы консорциум W3C очень интенсивно работал над спецификациями XML, были существенно изменены и доработаны многие из них, добавлено большое количество новых. В связи с этим, разработка приложений, поддерживающих в полном объеме рекомендации W3C, стала очень непростой задачей. И следовательно на данный момент существует большое количество разнообразных приложений, которые в той или иной мере реализуют эти стандарты. При чем каждый это делает по своему. В ходе поиска и классификации можно выделить такие категории приложений для работы с XML-документом:

- язык реализации (влияет на скорость работы парсера, переносимость и удобство использования);
- способ реализации (библиотека процедур для разбора XML-документа или законченная программа);
- функциональное назначение (средства для просмотра XML и DTD, редакторы XML и DTD, программы для обеспечения поиска по XML-тексту, валидаторы, трансформаторы, отладчики, парсеры);

Парсеры, видимо, основная часть всего этого многообразия приложений. На данный момент для парсеров сложилось два стандартных API, одно из которых должен реализовывать каждый парсер. Первое это SAX (simple API for XML), автором которого является David Megginson, второе — стандарт DOM от W3C. SAX построен на механизме обратных вызовов, пользователь должен предоставить класс, который будет реагировать на события разбора. Примерами таких событий являются начало документа, начало тэга и т. п. Стандарт DOM, напротив, предоставляет пользователю определенное API к документу, который наиболее естественно отображается на структуру дерева. В качестве примера парсера, реализующего DOM, можно привести Xml4J от IBM. Зачем же потребовалось создавать эти две модели? Ответ очень прост. Очевидно,

представление DOM наиболее просто. С его помощью можно легко получить доступ к любому элементу документа или модифицировать его. Вся проблема заключена в цене этой простоты. Для некоторых приложений совсем не обязательно представление документа в таком виде, им нужно гораздо меньшее, например, выбрать все элементы первого уровня. Для других необходимо собственное внутреннее представление документа, возможно для оптимизации доступа к некоторым узлам. И в том, и в другом случае дополнительный уровень преобразования документа в DOM-дерево может оказаться неоправданной роскошью. Можно отметить, что разработка SAX-парсера гораздо более простое дело, чем парсера, поддерживающего DOM. Это отчетливо сказывается на предложении парсеров: SAX-парсеров можно найти гораздо больше, чем парсеров DOM. Кроме того, как правило, DOM-парсеры включают в себя классы, реализующие SAX-интерфейс.

Любой XML-процессор, являясь, по сути, транслятором языка разметки, может быть разбит на несколько модулей, отвечающих за лексический, синтаксический и семантический анализ содержимого документа. Понятно, что если бы мы были вынуждены каждый раз писать все эти блоки самостоятельно, необходимость в XML как в таковом бы отпала — основное его преимущество, как уже упоминалось ранее, заключается в стандартном способе извлечения информации из документа. Синтаксически правильно составленный XML-документ

может быть разобран любым универсальным XML-анализатором, и нашему XML-обработчику остается лишь использовать полученные на его выходе «чистые» данные (прошедшие синтаксический анализ) — интерпретировать содержимое документа, в соответствии с его DTD-описанием или схемами данных (рис. 1).

4. Методика тестирования

Для тестирования парсеров изложим методологию проведения тестов процессоров и с этих позиций требования к тестовым примерам. Дело в том, что корректный результат преобразования может быть представлен неоднозначно. Например, может варьироваться порядок параметров, если они допускают перестановку по DTD. Этот факт сильно усложняет задачу проверки работоспособности приложения. Для тестирования парсеров XML можно предложить следующую схему: определим некоторое подмножество языка XML, которое назовем каноническим XML. Будем использовать канонический XML для представления результатов разбора документа. К каноническому представлению выдвинем следующие требования: каждый хорошо оформленный XML-документ должен обладать единственным структурно эквивалентным ему каноническим документом. Два структурно эквивалентных XML-документа должны иметь побайтно идентичные канонические представления.

Предложим грамматику для записи канонических XML-документов:

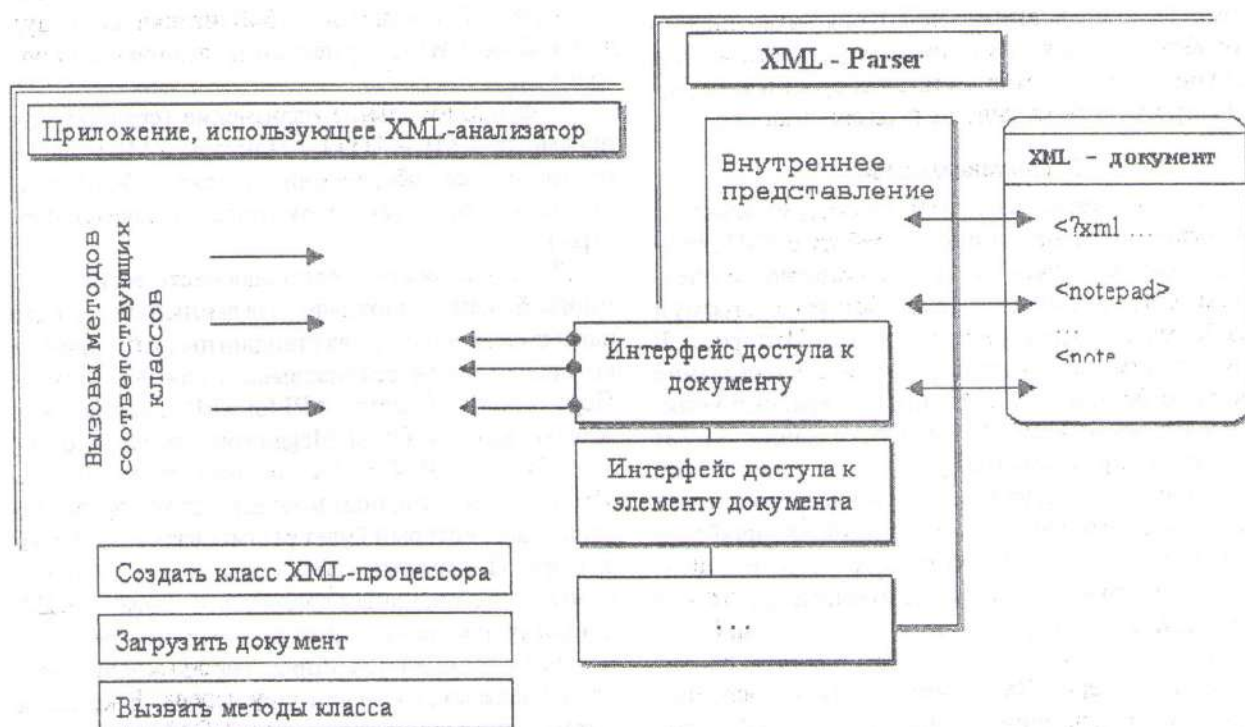


Рис. 1. Принцип работы парсера

— документы со значением по атрибута `stand-alone`.

Тесты бывают двух типов:

— бинарные тесты и тесты с проверкой результата преобразования (бинарные тесты собраны в четыре категории, в зависимости от категории, процессор должен пройти или завершиться с ошибкой, в зависимости от того, валидирующий или нет XML-процессор);

— тесты с проверкой результата преобразования.

Конформность процессора измеряется в процентах пройденных тестов. Для общей оценки производительности процессоров необходимо замерять полное время обработки XML-документа и XSLT-кода.

Для общей оценки производительности процессоров необходимо замерять полное время обработки XML-документа и XSLT-кода. Однако это далеко не самый интересный показатель. Для анализа временных характеристик и осмысленного тестирования скоростей необходимо выделить основные этапы работы XML-процессоров. После их выявления нужно провести замеры времени как работы процессора в целом, так и время на выполнения этих фаз. Предлагается выделить такие этапы обработки документов во всех тестируемых процессорах.

4.1. Фазы работы XML-процессоров.

В качестве основного документа для выделения схемы работы процессора воспользуемся результатами анализа В. Рогановым процессора XSLT Джэймса Кларка. В этом документе достаточно подробно проанализирована структура кларковского парсера. Аналогичные этапы обработки документов могут быть выделены и в других тестируемых приложениях.

К счастью, для рассматриваемых процессоров, как правило, не составляет большого труда выделить фазы построения преобразователя от собственно преобразования XML-документа. Тем самым можно во многом ослабить влияние предкомпиляции XSLT. По наблюдениям, для большинства примеров фаза преобразования гораздо более трудоемкая, чем построение преобразователя.

Итак, мы будем выделять следующие фазы преобразования в тестируемых процессорах (на примере XT):

- 1) загрузка XSLT (правил преобразования XML);
- 2) переработка дерева распарсированного XSLT в дерево действий;
- 3) загрузка входного XML-документа;

4) обработка документа с параллельной выдачей результата;

5) выдача результата.

Завершение работы отдельно не выделяется.

Обобщим вторую фазу как этап предкомпиляции XSLT (по-видимому, именно в таком виде она и встречается в остальных процессорах). Будем называть эту фазу предкомпиляцией, подчеркивая, что она осуществляется до начала трансформации документа

В фазе 4 результат трансформации может быть представлен и иным способом. По этой причине выделим пятую фазу, которую назовем выдачей результата.

Исходя из общих задач, сформулируем следующие этапы работы:

- 1) создание приложений на JAVA или C++ для автоматизации тестирования процессоров в целом и по фазам обработки документов;
- 2) создание собственных тестовых примеров, объединяющих усложненный код XSLT с существенным объемом документа;
- 3) определение скоростей работы процессоров;
- 4) определение скоростей работы различных фаз работы процессоров.

5. Выводы

Наиболее интересным вариантом примеров является набор примеров XML Conformance Test Suite. Два первых набора: тесты XML Conformance Test Suite и примеры Docbook покрывают основные вопросы тестирования. Процессор, успешно прошедший эти тесты, имеет очень высокие шансы пройти все остальные. Однако, если при работе с DocBook возникли проблемы, можно испытать приложение на наборах более простых тестов. Необходимое в дальнейшем сравнительное тестирование времени работы процессоров рекомендуется проводить на указанных выше наборах примеров. Вопрос о выделении эталонного парсера пока оставлен открытым.

Список литературы: 1. Б.Мак-Лаклин. «Java и XML» 2-е издание. Издательство: Символ. 2002. — 480 с. 2. «XML для профессионалов». Издательство: Лори. 2001. — 866 с. 3. С. Холзнер, «XML. Энциклопедия — Real World XML». Издательство: Питер. 2004. — 1104 с. 4. С. Холзнер, «XSLT. Библиотека программиста. Inside XSLT». Издательство: Питер. 2003. — 544 с. 5. П. Дейтел, Х. Дейтел, Т. Лин, Т. Нието, П. Садху, «Как программировать на XML». Издательство: Бином. 2001. — 944 с. 6. А.Гомер, «XML и IE5. Справочник программиста». Издательство: Лори. 2001. — 418 с.

Поступила в редколлегию 29.11.2005

АРХІТЕКТУРНІ ТА СИСТЕМОТЕХНІЧНІ ПІДХОДИ ДО КОНСТРУЮВАННЯ УКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ЛІНГВІСТИЧНОГО КОРПУСУ

1. Архітектура програмної системи УНЛК

В інформаційних проектах великого масштабу вибір генеральної (технологічної чи технічної) лінії є одним із основних питань, що визначає успіх впровадження та ефективність використання системи. Як детальний план будь-якого проекту, найпершим аспектом, який слід проаналізувати на предмет адекватності забезпечення якісних властивостей інформаційної системи виступає її архітектура. Під архітектурою програмної системи, розгляд якої поданий нижче, ми розуміємо опис всіх структур системи (а саме структури декомпозиції на модулі, структури процесів, локалізацій, рівнів тощо).

Вибір програмної архітектури під час проектування системи УНЛК здійснювався з огляду на основні вимоги до системи, а саме:

- ефективне опрацювання великих текстових масивів;
- забезпечення паралельного обслуговування великої кількості клієнтів;
- розподілення функцій системи за різними групами користувачів;
- забезпечення масштабованості системи;
- вимоги до високого рівня відмовостійкості системи;
- забезпечення надійності збереження та обміну даними;
- проведення ресурсоемних обчислень та обробки даних;
- ефективного функціонування розподілених застосунків в глобальній мережі в онлайн-режимі.

Під час аналізу поставлених вимог до системи вибір розподіленої архітектури став очевидним. Така технологія забезпечує централізоване збереження та обробку даних, надає можливість розподіленого введення даних, вирішує проблему обмеження доступу до ресурсів, надає можливість використання потужних обчислювальних можливостей серверу.

При альтернативі між дворівневою і багаторівневою системою ми зупинили свій вибір на багаторівневій архітектурі. Причиною відмови від дворівневої архітектури була проблема масштабованості для дворівневої архітектури «клієнт-сервер», а це суперечить вимогам до системи, яка розробляється. Безперечно, реалізація дворівневої архітектури вимагає менше затрат на розробку і легша в реалізації, адже «клієнт-серверна» архітектура взагалі передбачає наступний механізм взаємодії.

Клієнтський процес робить запити на обслуговування до серверного, в результаті якого обмінюється з ним певними наборами даних. У клієнтському процесі виконується перевірка введених користувачем даних, виконання запиту до серверу, та, можливо, виконання певних бізнес-правил. Клієнт відповідає за рівень подання цих даних. «Сервер» діє як механізм реалізації клієнтських запитів шляхом виконання прикладних програм та взаємодії з такими ресурсами, як бази даних та файлові системи. На відміну від дворівневих систем, які складаються лише з рівня подання та рівня збереження даних, у трирівневій системі, на якій ми зупинили свій вибір, вводиться проміжний рівень, на який вносився рівень бізнес-логіки (рис. 1).



Рис. 1. Архітектура програмного комплексу

У цьому випадку проміжний рівень перевіряє правильність даних, що передаються від клієнта та оброблює їх у відповідності до бізнес-правил. Ця обробка може взаємодіяти з рівнем даних або виконувати локальні обчислення чи перетворення, в результаті яких результати передаються на рівень даних для збереження, або ж на рівень подання (клієнтський). Крім цього використання такої архітектури дає можливість логічного розподілення функцій системи, що в свою чергу забезпечує можливість розподілення роботи між різними розробниками, можливість розробляти окремо кожен рівень, переносити на інші сервери в залежності від вимог масштабованості. Зосередження бізнес-логіки на проміжному рівні дозволяє модифікувати її,

не змінюючи клієнтські системи та інформаційні масиви. І навпаки, з'являється можливість розробки різних клієнтських програм, що використовують один і той самий рівень бізнес-логіки. Отже, вибір такої архітектури забезпечує досягнення таких переваг в порівнянні з дворівневою:

- відмовостійкість. Природа розподілених застосувань дозволяє будувати відмовостійкі програмні системи застосовуючи такий спосіб як збитковість. Розподілення копій функціональних модулів, або копій об'єктів по різних вузлах збільшує ймовірність того, що збій на одному з вузлів не викличе збою в роботі об'єктів на іншому вузлі і система в цілому зможе продовжити роботу;

- масштабованість. Здатність системи витримувати збільшення навантаження з мінімальним зменшенням продуктивності забезпечується шляхом розподілення різних функціональних частин застосування по різних вузлах. Це скорочує обсяг обробки, що виконується одним вузлом і дозволяє виконувати великі обсяги роботи паралельно;

- адміністрування. Ефективне керування апаратною і програмною конфігурацією великої мережі ПК питання досить актуальне. При багаторівневій архітектурі зміна бізнес-правил здійснюється на сервері, що дозволяє клієнтські застосування практично не змінювати.

Отже, вибір такої архітектури є оптимальним як з точки зору масштабування, так і гнучкості підтримки та розповсюдження програмної системи.

2. Специфіка функціонування онлайнної версії УНЛК

Онлайнна версія УНЛК має розроблятися з урахуванням обмежень, зумовлених середовищем функціонуванням, загальноприйнятих стандартів роботи розподілених систем в глобальній мережі, різноманітного програмного забезпечення кінцевих користувачів, специфіки обміну інформацією, вимог забезпечення захисту і надійності роботи системи. На продуктивність розподіленого застосування впливає велика кількість факторів. Наприклад, це мережна швидкість, завантаженість мережі, апаратні проблеми, пов'язані з окремими комп'ютерами в мережі (проблеми процесорів, розмір і швидкість оперативної пам'яті).

Незважаючи на те, що загальнодоступний Інтернет існує уже досить давно, до недавніх пір він застосовувався в основному для передачі файлів, електронної пошти та перегляду HTML-сторінок, які надавалися Web-серверами. Хоча розвиток технологій розподілених застосувань має значний прогрес, однак специфіка їх застосування, в основному, зорієнтована на роботу в закритих мережах. Більшість розробників не використовували Інтернет як мережу для роботи розподілених застосувань. З розвитком технологій компанії почали за-

хищати свої внутрішні мережі від трафіка крім HTTP, зазвичай лише через порт 80. Можливо, на даний момент справедливо стверджувати, що більшість клієнтів працюють за протоколом HTTP. Це не означає, що HTTP настільки ефективний. Це просто угода, якої досягнуто в зв'язку зі зростанням популярності Інтернету. Як правило, старі мережні формати даних і протоколи вимагають відкритого доступу через брандмауери до незахищених портів. Крім того, подібні формати і протоколи інколи використовують не один порт, а декілька портів або навіть діапазон номерів портів. Спеціалісти з забезпечення захисту систем вважають, що відкриття доступу через брандмауери на пропуск подібного трафіка фактично суперечить їх прямому призначенню. Тому для забезпечення функціонування розподілених застосувань в глобальній мережі без обмежень на настройки брандмауерів стало зв'язування закритих мереж з використанням HTTP. Таке завдання вирішувалося і вирішується до сьогодні за допомогою тунелювання нестандартних мережних форматів через HTTP, для чого створюються спеціалізовані клієнти та сервери або використовуються Web-сервери. Але такий варіант не дуже привабливий, адже насправді, така технологія являє собою трудомісткі «вставки» до розроблених програмних засобів з метою подолання обмежень мережних форматів даних. Стало зрозуміло, що використання спеціалізованих форматів в Інтернеті не задовольняє вимоги ефективного функціонування онлайнних систем. Загальноприйнятим стандартом для проникнення через брандмауер стала розробка розподілених застосувань, які функціонують з використанням HTTP.

3. Програмні засоби розробки системи

Розробка системи УНЛК проводиться на базі платформи .NET. Це зумовлено наявністю:

- ієрархічної множини уніфікованих бібліотек класів;

- потужної та надійної технології доступу до різних сховищ даних ADO.NET. За даною технологією, використовуючи OLE DB-провайдерів, .Net-провайдерів або XML, отримується доступ до джерел даних. Так з реляційними даними можна виконувати всі необхідні операції (вибору, додавання, оновлення, видалення і т.д.). З'являється можливість створення проміжних колекцій із запитів як до гетерогенних так і розподілених баз даних;

- засобів створення багаторівневих застосувань .NET Remoting. З використанням .NET Remoting виникає можливість взаємодії об'єктів, що знаходяться в різних процесах чи доменах застосувань з використанням різних транспортних протоколів, різних форматів серіалізації, схем життєвого циклу об'єктів та способів створення об'єктів;

— можливості використання будь-яких мов програмування, які відповідають специфікації CLS (Common Language Specification);

— можливості розробки розподілених застосунків для глобальної мережі (он-лайн систем).

Механізм функціонування в глобальній мережі розглянемо в наступному пункті.

4. Особливості програмної платформи для розробки он-лайн систем

Під час розробки онлайн-систем серед вимог до функціонування на перший план постає відкритість системи. Відкритість .NET Remoting досягається за рахунок підтримки відкритих стандартів, таких як HTTP, SOAP, WSDL та XML. .NET Remoting пересилає серіалізовані об'єкти-повідомлення через межі .NET Remoting за допомогою каналів. Об'єкти-канали по обидві сторони межі надають транспортний механізм, що володіє потужними можливостями підтримки найрізноманітніших протоколів та мережних форматів. Інфраструктура .NET Remoting пропонує два стандартних типи каналів, які можна використовувати в розподілених застосуваннях: TCP і HTTP. Є можливість створення власного транспортного механізму та підключення його до інфраструктури .NET Remoting. Розглянемо детальніше стандартні типи каналів.

TCP. У випадку, коли вимагається максимальна ефективність інфраструктури .NET Remoting пропонує транспорт на основі сокетів, що використовує для передачі серіалізованого потоку повідомлень через межі .NET Remoting протокол TCP. У просторі імен System.Runtime.Remoting.Channels визначено тип каналу TcpChannel. Tcp реалізує інтерфейси IChannel, IChannelReceiver і IChannelSender, а це означає, що тип TcpChannel підтримує як відправлення так і отримання даних через межі .NET Remoting.

HTTP. У тому випадку, коли вимагається максимальна відкритість (так як у випадку он-лайн систем), .NET Remoting пропонує транспорт, що використовує протокол HTTP для передачі серіалізованого потоку повідомлень через Інтернет і через брандмауер. Функціональність транспорту HTTP реалізовано в типі HttpChannel, який визначений в просторі імен System.Runtime.Remoting.Channels.Http. Як і TcpChannel, канал HttpChannel приймає і передає дані через межі .NET Remoting. Для серіалізації об'єктів-повідомлень канал HttpChannel використовує мережний формат SOAP (Simple Object Access Protocol). Формат SOAP являє собою XML-«конверт» із запитом (відповідь на запит), у якому зазначені засоби подання XML-структури та засоби зв'язку за протоколом HTTP.

Отже, в залежності від поставлених цілей можна застосовувати два найбільш розповсюджені сценарії використання .NET Remoting:

— канал HTTP/SOAP, що забезпечує максимальну відкритість;

— канал TCP/бінарні дані — забезпечує максимальну продуктивність.

Забезпечення обох конфігурацій виконується за допомогою простого підключення необхідних модулів.

5. Взаємодія між розподіленими об'єктами

.NET Remoting дозволяє об'єктам, що функціонують всередині різних доменів застосувань або контекстів, взаємодіяти між собою через межі .NET Remoting. Межа .NET Remoting в деяких випадках дозволяє екземпляру пройти через неї без змін, в інших — примушує екземпляр об'єкта за межами домену чи контексту взаємодіяти з внутрішніми об'єктами за точно визначеним протоколом. З точки зору інфраструктури .NET Remoting-об'єкти поділяються на дві категорії: ті, що дистанціюються та ті, які не дистанціюються. До першої категорії належать об'єкти, для яких виконуються хоча б одна з таких умов як:

— екземпляри типу здатні проходити межі .NET Remoting;

— інші об'єкти можуть звертатися до екземплярів даного типу через межі .NET Remoting.

І навпаки, якщо тип не володіє жодним з перерахованих властивостей, то його відносять до другої категорії. У свою чергу, об'єкти, що дистанціюються, поділяються на три категорії за типом зв'язку: за значенням, за посиланням, контекстно-пов'язані.

Передача за значенням. Обмін об'єктами, що передаються за значенням, відбувається за допомогою процесу серіалізації (подання поточного стану об'єкта у вигляді послідовності біт). Після серіалізації об'єкта інфраструктура .NET Remoting передає отриману послідовність біт через межі .NET Remoting в інший домен застосування або контекст, де інфраструктура виконує їх десеріалізацію в екземпляр типу, що є точною копією початкового стану.

Передача за посиланням. Інколи необхідно, щоб усі виклики об'єкта, що створений в деякому домені застосування, зверталися саме до екземпляра в даному домені, а не до його копії в іншому домені. Наприклад, об'єкту можуть бути необхідні ресурси, доступні тільки об'єктам, що виконуються на даному комп'ютері. У такому випадку використовуються типи, що передаються за посиланням, для яких інфраструктура .NET Remoting передає посилання на екземпляр об'єкта, а не його серіалізовану копію.

Контекстно-пов'язані об'єкти. Екземпляри даного типу мають залишатися в межах певного контексту. А зовнішні до даного контексту об'єкти не мають безпосереднього доступу до типу контекстно-пов'язаного, навіть якщо вони знаходяться в одному і тому ж домені застосувань.

6. Активізація об'єктів

Перш ніж працювати з екземпляром типу, що дистанціюється, його необхідно створити і ініціалізувати, виконавши так звану процедуру активації. В .NET Remoting типи, що передаються за посиланням, підтримують два види активації: клієнтську та серверну. .NET Remoting підтримує два режими серверної активації *Singleton* та *SingleCall*.

Режим Singleton. В окремий момент часу може бути активним не більш ніж один екземпляр об'єкта, конфігурація якого *Singleton*. Єдиний екземпляр активізується при першому клієнтському зверненні до нього. До тих пір поки цей екземпляр активний, він оброблює всі наступні запити, як від того ж клієнта, так і від інших. Екземпляр типу *Singleton* може зберігати стан в проміжках між викликами його методів.

Режим SingleCall. Інший режим серверної активації — *SingleCall* — забезпечує підтримку моделі програмування без збереження проміжного стану. Для типу, сконфігурованого як *SingleCall*, інфраструктура .NET Remoting активізуватиме новий екземпляр при кожному зверненні клієнтом до методів цього типу. Після того як звернення до методу оброблено, інфраструктура .NET Remoting робить екземпляр типу доступним для збиральника сміття.

У випадку, коли необхідно, щоб кожен клієнт працював з окремим екземпляром віддаленого об'єкта в інфраструктурі .NET Remoting передбачено клієнтську активацію. Екземпляри типу з клієнтською активацією можуть залишатися активними в проміжках між зверненнями методів і використовувати ту ж схему управління часом життя, що і в *Singleton* з єдиною відмінністю, що кожен клієнт посилається на окремий екземпляр дистанційованого типу.

7. Час існування віддаленого об'єкта

Мережі засвоює природою ненадійні. Клієнтські застосування «падають», користувачі залишають свої робочі місця, а мережі, інколи втрачають свою працездатність.

Для управління часом життя віддалених об'єктів .NET Remoting використовує варіант розподіленого збирання сміття на основі ліцензій (*lease*). Ліцензія — це об'єкт, що інкапсулює значення проміжку часу, який використовується інфраструктурою .NET Remoting для визначення часу існування віддаленого об'єкта. Вибір даної схеми управління часом життя об'єкта продиктовано специфікою роботи розподіленої системи. Розглянемо ситуацію, коли достатньо велика кількість клієнтів взаємодіє з сервером у режимі *Singleton*. Застосовуючи схему управління часом життя, що не використовує ліцензії,

для визначення необхідності ліквідації об'єкта проводиться опитування клієнтів та підраховування посилань на об'єкт. У подібній схемі мережний трафік, пов'язаний з опитуванням клієнтів інколи негативно впливає на роботу розподіленого застосування в цілому. На противагу такій схемі система управління часом існування на основі ліцензій використовує ліцензії, спонсори та диспетчер ліцензій. Відсутність у такій схемі опитування дозволяє збільшити загальну продуктивність застосування.

Розглянемо загальну схему управління часом існування віддаленого об'єкта на основі ліцензій. У кожному домені застосувань існує диспетчер ліцензій. Він містить посилання на об'єкт-ліцензію для кожного об'єкта *Singleton* з серверною активацією або для кожного об'єкта з клієнтською активацією, що існують в домені застосування цього диспетчера. З кожною ліцензією пов'язано один або більше спонсорів, які здатні продовжувати ліцензію, коли диспетчер ліцензій визначає, що термін її існування закінчився (диспетчер періодично перевіряє список ліцензій, порівнюючи час закінчення дії ліцензії з поточним часом).

Висновки

Зазначимо, що вибір поданої багаторівневої програмної архітектури та використання інструментальних засобів платформи .Net Remoting стали базою для розробки та запуск у промислову експлуатацію в Українському мовно-інформаційному фонді НАН України лексикографічну систему УНЛК. На базі розробленої системи виконуються різноманітні лінгвістичні дослідження, програмний комплекс використовується як додатковий інструмент під час розробки нових лексикографічних систем.

Список літератури: 1. Широков В.А. Інформаційна теорія лексикографічних систем. — К.: Довіра, 1998. — 331 с. 2. Широков В.А. Феноменологія лексикографічних систем. — К.: Наук. думка, 2004. — 327 с. 3. Широков В.А. та ін. Корпусна лінгвістика: Монографія / Широков В.А., Бугаков О.В., Грязнухіна Т.О., Любченко Т.П., Рабулець О.Г., Сидоренко О.О., Сидорчук Н.М., Шевченко І.В., Шипнівська О.О., Якименко К.М.; Український мовно-інформаційний фонд НАН України. — К.: Довіра, 2005. — 472 с. 4. Сидорчук Н.М. Онлайн-лексикографічні системи (на прикладі системи „Словники України”) // 2-й Міжнародний радіоелектронний форум «Прикладна радіоелектроніка. Состояние и перспективы развития» МРФ-2005. Сб. Научных трудов. Т.3. Международная конференция «Информационные системы и технологии». — Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. 2005. — С. 39–42. 5. Басс Л., Клементс П., Кайман Р. Архитектура программного обеспечения на практике. 2-е издание. — СПб.: Питер, 2006. — 575 с. 6. Маклин С. и др. Microsoft. NET Remoting: Пер. с англ.; Нафтел Дж.; Уильмс К. — М.: Русская Редакция, 2003. — 384 с.

Поступила в редколлегию 07.10.2005

УДК 681.324

М. Н. Яхимович

ОБОБЩЕННАЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОНА

С развитием нейросетевых технологий важной становится задача разработки математических моделей, идентифицирующие свойства биологических прототипов т.к. широкий класс задач, решение которых не представляет трудностей для сетей биологических нейронов, все еще не доступен нейроподобным сетям, элементами которых являются упрощенные и идеализированные модели нервных клеток [1, 2]. Поэтому интересной становится задача моделирования свойств биологических нейронов, которые могут выполнять важную роль в способности системы нейроподобных элементов к обучению. Создание таких моделей позволит расширить класс задач, решаемых с помощью нейросетевых технологий [3]. Одно из таких свойств — способность биологических нейронов к временному суммированию сигнала. Это свойство наряду со способностью клетки к пространственному суммированию определяет логику нейрона.

Известна модель изменения потенциала нервной клетки (учитывающая изменение сигнала с течением времени), согласно которой зависимость потенциала сомы (тела клетки) от времени, можно представить в виде:

$$F(t) = \int_{-\infty}^t g(s)e^{s-t} ds. \quad (1)$$

Здесь $F(t)$ — значение потенциала сомы в момент времени t ; g — сигнал на входе клетки. Наличие экспоненты (с входящим в ее показатель параметром — t) под знаком интеграла, дает эффект «рассасывания» потенциала (с течением времени потенциал сомы в отсутствии сигнала начинает снижаться).

Рассмотрим графическую интерпретацию эффекта «рассасывания». Пусть на вход клетки поступает сигнал g в форме импульса (рис. 1):

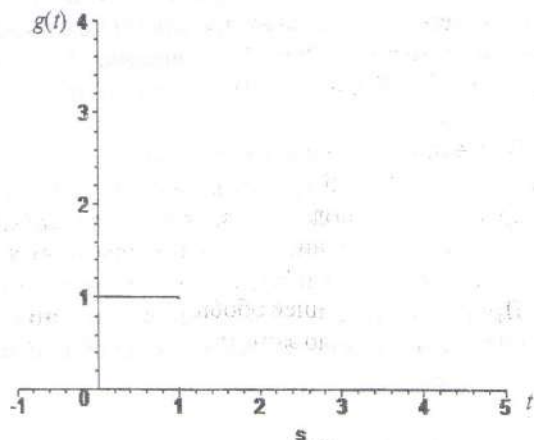


Рис. 1. График зависимости $g(t)$

То есть:

$$g(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, 1] \\ 0, & t \in (-\infty, 0) \cup (1, \infty) \end{cases}. \quad (2)$$

Тогда с течением времени потенциал сомы $F(t)$ меняется следующим образом (рис. 2):

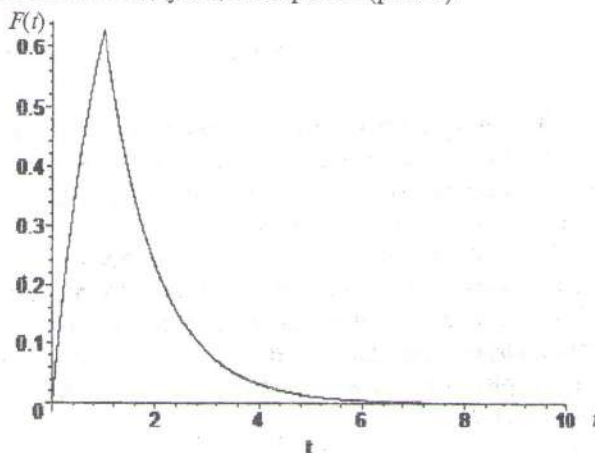


Рис. 2. График потенциала $F(t)$

Рис. 2 отчетливо иллюстрирует эффект «рассасывания» потенциала: до момента времени $t=1$, пока на вход «клетки» поступает сигнал, потенциал увеличивается, когда сигнал «исчезает» ($t \in (1, 10]$), потенциал $F(t)$ начинает снижаться к значению нуля.

Представленная выше модель описывает изменение потенциала сомы при условии наличия сигнала лишь на одном входе нервной клетки. Положим теперь число входов равным k , исходя из принципа аддитивности потенциала, получим формализованную запись потенциала клетки:

$$F(t) = \sum_{i=1}^k \int_{-\infty}^t W_i g_i(s)e^{s-t} ds. \quad (3)$$

Здесь g_i — функция, описывающая поведение сигнала на i -м входе. W_i — значение весовых коэффициентов.

Описываемая в (3) модель изменения потенциала клетки предполагает только пространственную адаптацию весовых коэффициентов, во время как сигналы, поступающие на различные входы, могут обладать способностью к временному суммированию в различной степени (одни раздражители приводят к возбуждению клетки лишь при условии их одновременного появления, воздействие других накапливается с течением времени, в биологических нейронах этот эффект может быть обусловлен

влиянием нейромедиаторов различных типов), в модели (3) это может быть реализовано различными способами, например:

$$F(t) = \sum_{i=1}^k \int_{-\infty}^t W_i g_i(s) e^{s-C_i t} ds. \quad (4)$$

Дополнительный коэффициент C_i здесь выполняет роль регулятора способности сигнала к временному суммированию, и настраивается иначе чем W_i . Более тонкой настройки временного суммирования можно добиться, поместив настраиваемый параметр C_i в показатель параметра экспоненты:

$$F(t) = \sum_{i=1}^k \int_{-\infty}^t W_i g_i(s) e^{s-t^{C_i}} ds. \quad (5)$$

Эти зависимости интересны тем, что если $C_i = 0$, то (5), (4) вырождаются в модели с пространственным суммированием, без учета временной составляющей накопления потенциала.

Сравним возможности настройки способности к временному суммированию моделей (4) и (5). Если $C_i = 0$, то обе зависимости демонстрируют отсутствие эффекта рассасывания, рис. 3 для зависимости (4), рис. 4 для зависимости (5) (ось ординат — значения $F(t)$):

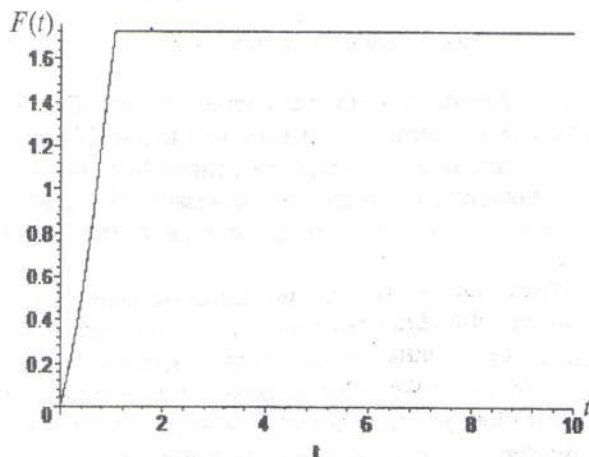


Рис. 3. График зависимости (4) при $C_i = 0, i = 1$

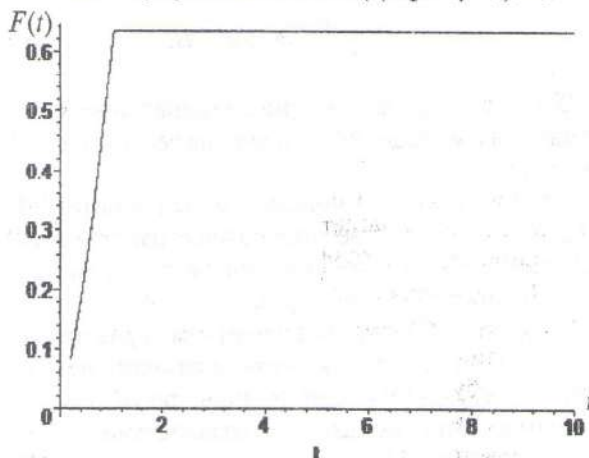


Рис. 4. График зависимости (5) при $C_i = 0, i = 1$

Если параметр «рассасывания» C_i изменяется в диапазоне $(0, 1]$, то зависимость (5) демонстрирует более «плавную» подстройку скорости рассасывания, что нетрудно заметить — рис. 5 для зависимости (4) и значения параметра $C_i = 0,1$; рис. 6 для зависимости (5) и значения параметра $C_i = 0,1$:

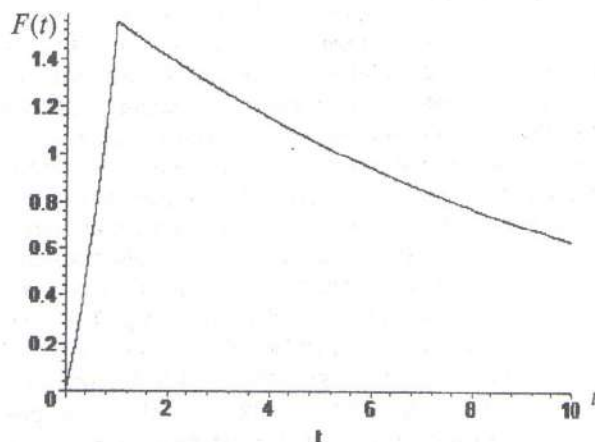


Рис. 5. График зависимости (4) при $C_i = 0,1, i = 1$

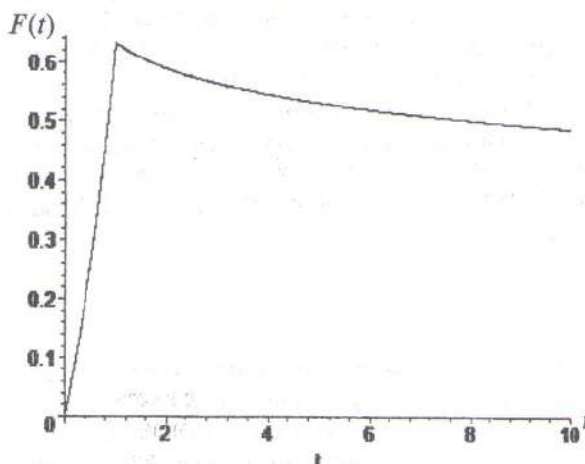


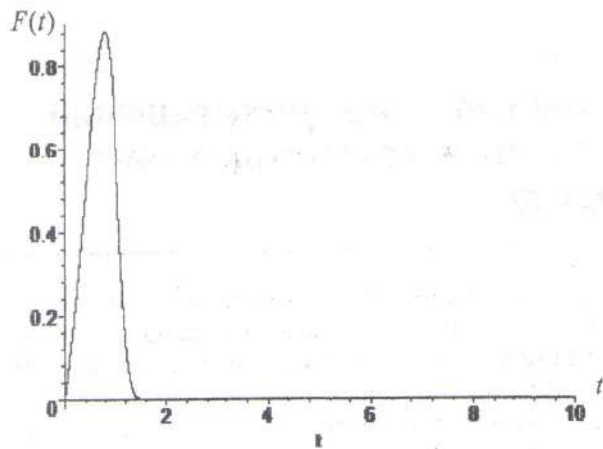
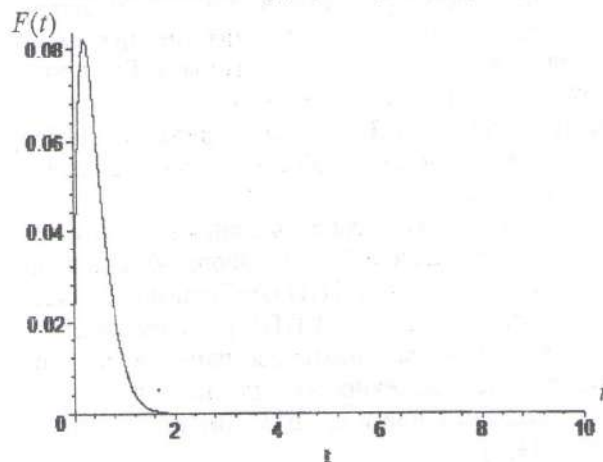
Рис. 6. График зависимости (5) при $C_i = 0,1, i = 1$

Если параметр «рассасывания» C_i принимает значения > 1 , то зависимость (5) демонстрирует хорошо настраиваемую динамику рассасывания, вплоть до практически моментального исчезновения потенциала после прекращения подачи возбуждающего сигнала. Зависимость (4) не отражает желаемого эффекта. Рис. 7 — зависимость (5) при значении $C_i = 5$, рис. 8 зависимость (4) при значении $C_i = 5$.

Более того, как видно из рис. 8 в зависимости (4), при значении $C_i = 5$, «рассасывание» началось еще до прекращения подачи возбуждающего сигнала, максимальное значение потенциала при этом сильно зависит от параметра временного суммирования.

Проводя дальнейшее обобщение, значение потенциала сомы можно записать в более общей форме, а именно:

$$F(t) = \int_{-\infty}^{k+1} \int_{-\infty}^t W(x) g(x, s) e^{s-t^{C(x)}} ds dx. \quad (6)$$

Рис. 7. Зависимость (5) при значении $C_i = 5, i = 1$ Рис. 8. Зависимость (4) при значении $C_i = 5, i = 1$

Зависимость (6) устанавливает значение потенциала клетки в условии, что возбуждение на вход поступает не дискретными потоками, а непрерывным двумерным — пространственно-временным полем сигналов — $g(x, t)$.

Здесь, чтобы из выражения (6) получить выражение (5) достаточно соответствующим образом подобрать $W(x)$, $C(x)$:

$$W(x) = W_i(x \in (i, i+1)), \quad (7)$$

$$C(x) = C_i(x \in (i, i+1)). \quad (8)$$

Выражение (6) допускает также следующую запись в виде интеграла Лебега-Стилтьеса:

$$F(t) = \int_1^{k+1} \int_{-\infty}^t e^{s-tC(x)} dG(s) dV(x). \quad (9)$$

С соответствующим образом подобранными $G(s)$, $V(x)$, при этом, оказывается, что большинство моделей нейронов сводится к модели (9), со своими $G(s)$, $V(x)$, а значит изучение их свойств, равносильно изучению свойств (9), (6). Отметим, что уравнения (6), (9), в общем случае, — аналоговые.

Рассмотрены способы обобщенного представления математических моделей нейрона, учитывающих, помимо традиционного пространственного суммирования, также присущий биологическим организмам временной тип суммирования; при этом способность сигнала к временному накоплению впервые выступает как настраиваемый параметр, что и составляет научную новизну исследования. Полученные модели позволяют, как частный случай, получить традиционные модели нейронов, а значит изучение их свойств может быть сведено к изучению свойств полученных зависимостей. Практическая значимость состоит в том, что возможность настраивать параметр временного суммирования открывает новые способности к адаптации моделей нейрона в реальном времени, подобные процессам, происходящим в биологических системах. Приведена также возможная форма записи зависимости потенциала клетки от возбуждения в условии непрерывного двумерного — пространственно-временного поля сигналов.

Список литературы: 1. Оссовский С. Нейронные сети для обработки информации. — М.: Наука, 2004. — 344 с. 2. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. — М.: Мир, 1992. — 474 с. 3. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Кирдин А.Н., Миркес Е.М., Новоходько А.Ю., Россиев Д.А., Терехов С.А., Сенашова М.Ю., Царегородцев В.Г. Нейроинформатика. — Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998. — 296 с.

Поступила в редколлегию 11.10.2005

СИНТЕЗ МЕТОДИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫБЕРЕ ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА

1. Введение

Перед тем как ставить задачу охарактеризуем моделируемый процесс принятия идентификационных и прогнозных решений технологом при выборе оборудования в технологической подготовке производства (ТПП) в условиях неопределенности, а также необходимые в дальнейшем предположки.

Выбор оборудования [1] является одним из основных процессов ТПП. Задача выбора оборудования является довольно сложной, т. к. на крупных предприятиях парк только листоштамповочного оборудования составляет более 7000 единиц.

Технолог при выборе оборудования выполняет как рутинную (расчет различных технологических параметров, заполнение технологической документации), так и творческую работу (проектирование технологического процесса (ТП), выбор типа оборудования).

Сложность задачи выбора оборудования обусловлена многокритериальностью выбора, различными видами неопределенностей. Многокритериальность выбора оборудования [2] связана с тем, что, например, для одной листоштамповочной операции можно использовать несколько типов прессов. Технолог должен выбрать наиболее подходящий с точки зрения стоимости заказа, сроков изготовления, типа производства. Неопределенность принятия решений при выборе оборудования обусловлена вероятностным характером данных, преобладанием качественных и разнотипных характеристик производственных ситуаций, таких как стоимость заказа, тип производства, срок выполнения заказа, тип штампа, тип раскроя, толщина материала, закрытая высота штампа; неполнотой и нечеткостью данных, например, данные о текущем состоянии оборудования такие как, занятость, исправность, изношенность оборудования, наличие рабочего соответствующего разряда для работы на оборудовании. Также отсутствуют строго формализованные алгоритмы выбора оборудования; четко не определены критерии и производственные характеристики, влияющие на принимаемое решение; невозможно использовать регулярные методы принятия решений для задачи выбора оборудования.

При разработке ТП по групповому или техпроцессу-аналогу технолог также сталкивается с не-

определенностями. Он должен решить, как выбрать техпроцесс-аналог, что именно нужно изменить в выбранном техпроцессе, как выполнить изменения.

Решение подобных задач требует использования опыта технолога, его явных и неявных знаний, интуиции.

Очень часто при изготовлении новых деталей технолог не может принять решение при выборе оборудования из-за недостатка опыта. Тогда рабочий сначала изготавливает деталь, а только после этого составляет ТП, что может привести к выбору экономически нецелесообразного способа изготовления детали.

Таким образом, для повышения эффективности принятия решений при выборе оборудования и сокращения сроков ТПП необходимо использовать интеллектуальные СППР [3], способные накапливать и использовать для принятия решений знания опытных технологов для последующего их использования при поддержке решений компьютером [4, 5].

Процесс принятия решений технологом при выборе оборудования всегда целенаправлен на объект принятия решений (ОПР), т.е. технологическую ситуацию, возникающую в ТПП конкретной детали, а именно на ситуацию выбора оборудования для изготовления детали, которую можно описать конечным набором признаков, измеренных в разнотипных шкалах, но допускающих бинарное представление, а именно: тип производства (например, крупносерийное, мелкосерийное), срок заказа, точность изготовления детали, тип операции, марка материала, толщина материала, вид заготовки, стоимость детали, класс детали, тип оборудования. При обработке детали листовой штамповкой необходимо учитывать также следующие параметры: тип штампа, тип раскроя, форму контура детали, расположение отверстий по отношению к краю детали или линии гибки.

В этом наборе содержатся и целевые признаки (тип оборудования, тип операции), значения которых определяют класс исследуемых ОПР. Распознавать класс данного ОПР, означает определить значение целевого классификационного признака по наблюдаемым посыльным характеристикам, опираясь на базу знаний (БЗ). При этом нужно располагать БЗ, представленной системой классификационных закономерностей по выбору оборудования.

Естественный интеллект располагает такой БЗ, что позволяет человеку принимать решения, опираясь на собственную интуицию и БЗ, путем причинно-следственных логических рассуждений от посылок к следствиям. Для моделирования такого процесса средствами искусственного интеллекта будем использовать метод вероятных разноуровневых алгоритмических квантов знаний (vPAK3-метод), разработанный проф. И.Б. Сироджей, который основан на структуризации данных об ОПР и предметной области посредством v-квантов знаний, допускающих алгебраические преобразования, автоматическое квантование информации, наглядность и структурную оптимизацию процесса принятия решений. Начальное формальное представление моделируемого процесса выбора оборудования в виде логической сети вероятных рассуждений (ЛСВР) трансформируется в v-квантовую сеть вывода решений (v-КСВР). Формально ЛСВР отвечает ориентированный граф G , обладающий порядковой функцией. Основу алгоритмизации обучения ЛСВР и ее квантования составляет синтез алгоритма обучения ЛСВР vАЛОБ_КВАНТ [6, 7].

Роль базы v-квантов знаний (БvkЗ) выполняет неизвестная заранее v-КСВР, которую необходимо индуктивно восстановить первоначально в виде ЛСВР, а затем в оптимизированной квантовой форме, в режиме обучения на выборочных знаниях в виде сценарных примеров обучающих знаний (СПОЗ) посредством алгоритма vАЛОБ_КВАНТ, опираясь на которую искусственная система (подобно человеку) могла бы выводить идентификационные и прогнозные решения при выборе оборудования путем многоступенчатых причинно-следственных рассуждений. При этом используется критерий внешнего дополнения для гарантированного обеспечения v-КСВР требуемыми экстраполяционными свойствами. Правило принятия решений (ППР) в форме v-КСВР обладает экстраполяционными свойствами в том смысле, что оно оперирует логическими комбинациями признаков ОПР ранга не более r , найденного адекватно объему используемых СПОЗ. Первичной формой обучающих знаний служит таблица эмпирических данных (ТЭД), на основе использования которой и опыта экспертов строится последовательность СПОЗ. Она содержит разнотипные признаки ОПР, факты, закономерности. СПОЗ представляют собой объективные фрагменты сценариев принятия решений в виде высказываний вида:

ЕСЛИ (логическая комбинация посылок e_i),
ТО (следствие C_j), (1)

где $i = 1..k$; $j = k+1..h$, описываемых пропозициональными формулами в базисе $\{\wedge, \vee, \neg, \Rightarrow\}$ с указанием показателей достоверности посылок e_i и импликаций ($\Rightarrow C_j$), т.е. событий (ЕСЛИ..., ТО C_j).

Оригинальность восстановления v-КСВР при обучении с помощью vАЛОБ_КВАНТ заключается в использовании свойств порядковой функции графа G , представляющего ЛСВР, и критерия структурной полноты (КСП) сети для итерационного нахождения промежуточных вершин и дуг графа при известных входных и выходных вершинах. При этом КСП определяет условия останова vАЛОБ_КВАНТ.

Задача принятия решений при выборе оборудования в ТПП относится к задачам принятия решений в условиях следующих ограничений:

1) данные о производственной ситуации выбора оборудования разнотипны (т.е., измерены как в количественных, так и в качественных шкалах), достижимы в неполных объемах из различных источников (эксперты, техническая документация, справочники), носят преимущественно качественный или вероятностный характер;

2) целевые критерии заданы неявно, неизвестно какие, в каком количестве и как выбрать информативные признаки объекта принятия решений (ОПР) относительно целей принятия решений;

3) отсутствуют формализованные алгоритмы принятия решений по выбору типа оборудования, а также средства компьютерной поддержки принятия решений;

4) искомые правила принятия решений (ППР) невозможно определить непосредственно регулярными численными методами, т.к. неизвестны функция цели, класс функций, ограничения, законы распределения, но возможен путь создания средств инженерии вероятных квантов знаний для моделирования и имитации интеллектуальных умений технолога находить решения, опираясь на собственную интуицию и базу знаний.

Совокупность этих ограничений назовем принятием решений в условиях вероятностной неопределенности (λ -неопределенности).

Поэтому для создания интеллектуальной информационной технологии (ИИТ) и поддержки принятия решений при выборе оборудования будем использовать подкласс $M_v \subset M$ вероятностных (v-квантовых) моделей, т.е. vPAK3-моделей или vk-знаний.

На основании изложенного выше сформулируем общую задачу индуктивного построения v-КСВР в условиях λ -неопределенности. Известны:

— целевой критерий решаемой идентификационной или прогнозной задачи принятия решений в условиях λ -неопределенности с указанием требуемого уровня качества и надежности их решения;

— количество n и содержание признаков ОПР вместе с m наблюдениями в данной предметной области, представленных в форме выборочной ТЭД $T_o(m, n)$ и соответствующей последовательности СПОЗ вида (1);

— содержание посылочных данных с учетом λ -неопределенности, количество S и смысл иско-
мых целевых заключений, а также вид закономер-
ностей — функциональная, извлекаемых из ТЭД и
СПОЗ для индуктивного построения идентифика-
ционной или прогнозной БвкЗ при обучении.

Для построения v-КСВР необходимо иметь на-
бор технологических знаний по выбору оборудова-
ния, что в свою очередь, требует извлечения
знаний, а следовательно, создания методики из-
влечения знаний технолога при выборе оборудова-
ния в технологической подготовке производства.

2. Синтез методики извлечения знаний для поддержки решений при выборе оборудования в технологической подготовке производства

Одной из основных проблем инженерии зна-
ний является процесс извлечения знаний [8, 9].

Учитывая особенности и специфику производ-
ства для извлечения знаний по выбору оборудова-
ния в технологической подготовке производства
необходимо выполнить следующую последователь-
ность действий, которые составляют суть предло-
женной методики.

На первом этапе инженер по знаниям исполь-
зует текстологические методы извлечения знаний,
основанные на изучении специальных текстов из
учебников, справочников, технологических доку-
ментов.

Текстологические методы необходимо исполь-
зовать в такой последовательности:

- анализ учебников;
- анализ специальной литературы;
- анализ методик (технологическая докумен-
тация).

Эти методы отличаются по степени концентри-
рованности специальных знаний. Наиболее прост-
ым методом является анализ учебников, в которых
логика изложения соответствует логике предмета.
Анализ методик затруднен сжатостью изложения и
практическим отсутствием комментариев, облег-
чающих понимание неспециалистов. Для практи-
ческой работы необходимо использовать комбина-
цию этих методов.

Для этого сначала необходимо выбрать совме-
стно с экспертами базовый список литературы по
выбору оборудования, который постепенно введет
аналитика в предметную область. После ознаком-
ления с базовым списком приступать к чтению спе-
циальных текстов.

Использование текстологического метода из-
влечения знаний позволит инженеру по знаниям
выделить и сформулировать плохо формализован-
ные и строго формализованные задачи, возникаю-
щие при выборе оборудования. Также эксперт по
знаниям получит общее представление о предмет-
ной области и изучит основные категории и поня-

тия предметной области, что даст ему возможность
использовать коммуникативные методы для извле-
чения глубинных знаний технологов-экспертов и
подготовиться к интервью.

После изучения текстов эксперт по знаниям
должен перейти к активным коммуникативным
методам. Сначала необходимо использовать инди-
видуальные методы, т. к. эксперт по знаниям еще
не сформировал общее представление о методике
решения выделенных, плохо формализованных за-
дач, возникающих при выборе оборудования, и не
может оценивать сразу несколько мнений экспер-
тов.

Инженер по знаниям должен убрать пробелы,
уточнить и собрать знания для последующего их
использования при поддержке принятия решений
при выборе оборудования. Для этого необходимо
использовать интервью, которое является специ-
фической формой общения инженера по знаниям
и эксперта. Инженер по знаниям задает эксперту
серию заранее подготовленных вопросов с целью
извлечения знаний о предметной области.

Центральное звено интервью — вопросы. Воп-
росы должен готовить инженер по знаниям, уже
овладевший ключевым набором знаний.

Необходимо задавать вопросы, различные по
функции: основные, зондирующие и контрольные,
т. к. часто основные вопросы интервью, направ-
ленные на выявление знаний, не срабатывают —
эксперт отвечает нечетко. Тогда аналитик исполь-
зует зондирующие вопросы, которые направляют
рассуждения эксперта в нужную сторону.

Например, если не сработал основной вопрос:
«Какие параметры определяют выбор типа обо-
рудования?» — аналитик начинает задавать зонди-
рующие вопросы: «Всегда ли выбор типа оборудо-
вания зависит от типа производства? А если нет, как
это узнать?»

Контрольные вопросы применяют для провер-
ки достоверности и объективности информации,
полученной в интервью ранее.

После интервью целесообразно использовать
экспертные игры, которые дают возможность мак-
симально приблизить технолога к реальной произ-
водственной ситуации и обратиться к своим глу-
бинным знаниям. С экспертом играет инженер по
знаниям, который берет на себя какую-нибудь роль
в моделируемой ситуации.

Игра «учитель и ученик», в которой инженер по
знаниям берет на себя роль ученика и на глазах у
эксперта выполняет его работу, т. е. осуществляет
выбор оборудования, а эксперт поправляет «ошиб-
ки» ученика.

Далее эксперта просят написать обоснование
для выбора типа оборудования. Нужно накопить
несколько таких обоснований от разных экспер-

тов, а через некоторое время эксперту зачитать только обоснование и попросить принять решение. Как правило, этого он сделать не может, т. е. обоснование было неполным. Эксперт пополняет обоснование, тем самым выявляются скрытые (для самого эксперта) пласты знаний. Затем эксперт играет роль экспертной системы, а инженер по знаниям — роль пользователя. Разыгрывается ситуация консультации. Первые вопросы эксперта выявляют наиболее значимые понятия, самые важные аспекты проблемы выбора оборудования в ТПП.

Заключительный этап извлечения знаний — использование группового коммуникативного метода круглого стола, который предусматривает обсуждение какой-либо проблемы выбора оборудования, в котором принимают участие несколько экспертов с равными правами. Вначале участники высказываются в определенном порядке, а затем переходят к живой дискуссии.

Задача дискуссии — коллективно, с разных точек зрения исследовать спорные гипотезы о выборе оборудования. Для остроты на круглый стол приглашают представителей разных поколений, это уменьшает опасность получения односторонних знаний.

Задачу для обсуждения должен ставить инженер по знаниям, исходя из собранного ранее материала. Необходимо убедиться, что все эксперты правильно понимают задачу.

Таким образом, для извлечения знаний технолога при выборе оборудования целесообразно использовать методику, концептуальная структура которой представлена на рис. 1.

Процесс извлечения знаний итерационный. Поэтому при создании моделей знаниеориентированной поддержки принятия решений при выборе оборудования может возникнуть необходимость вернуться на какой-либо из этапов извлечения знаний, для дообучения или переобучения БЗ.

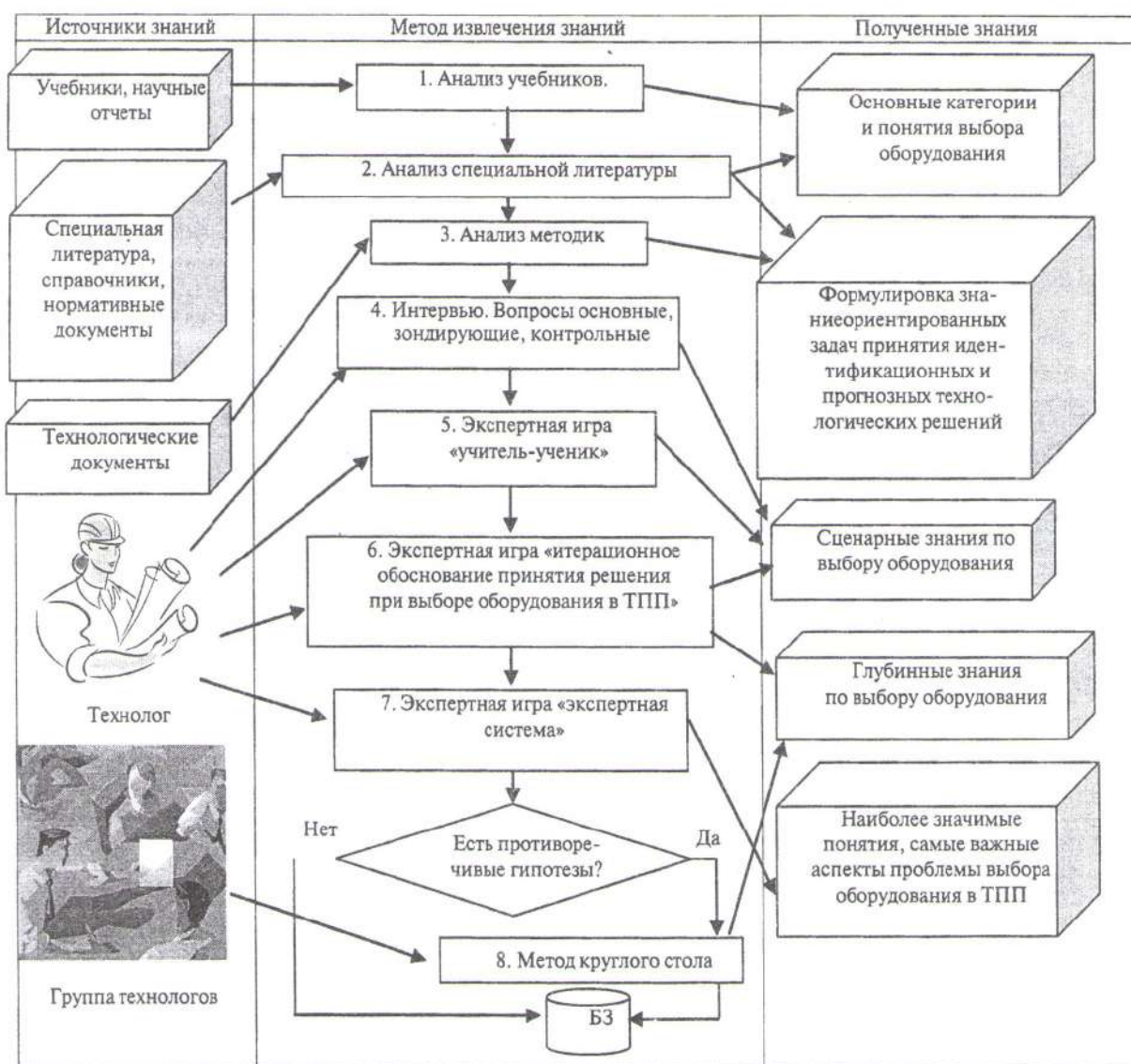


Рис. 1. Концептуальная структура методики извлечения технологических знаний по выбору оборудования в ТПП

3. Заключение

Таким образом, синтезирована методика извлечения, структурирования и обработки специальных знаний и метазнаний по выбору оборудования в ТПП средствами vPAK3-метода для создания интеллектуальной СППР.

Использование предложенной методики извлечения знаний позволяет извлекать технологические знания и создавать БЗ, которые обладают экстраполяционными свойствами и обеспечивают высокое качество принимаемых решений.

Список литературы: 1. Киричук Е.П. Методика выбора оборудования для листовой штамповки. // Радиотехнические и компьютерные системы. — Вып. 2. 2004. — С. 75–79. 2. Гордиенко Л.А., Киричук Е.П. Проблема интеллектуальной поддержки принятия технологических решений в листовой штамповке. // Авиационно-космическая техника и технология. — Вып. 3. 2004. — С. 83–89. 3. Киричук Е.П., Сироджа И.Б. Интеллектуальная система

поддержки принятия технологических решений при выборе оборудования в технологической подготовке авиационного производства // Бионика интеллекта. — № 1 (61). 2004. — С. 56–61. 4. Сироджа И.Б. Проблема разработки интеллектуальных систем поддержки принятия производственных решений. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. — № 2. 2003. — С. 36–47. 5. Сироджа И.Б. Математическое и программное обеспечение интеллектуальных и компьютерных систем. Ч. I. — Учеб. пособие. — Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1992. — 101 с. 6. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления. — К.: Наукова думка, 2002. — 490 с. 7. Сироджа И.Б., Петренко Т.Ю. Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке или нечетких данных. — К.: Наукова думка, 2000. — 247 с. 8. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с япон. — М.: Мир, 1989. — 293 с. 9. Приобретение знаний: Пер. с япон. // Под ред. С. Осуга, Ю. Сазэки. — М.: Мир, 1990. — 310 с.

Поступила в редколлегию 18.11.2005

УДК 681.3.07

О. А. Кобылин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУПП ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ НОРМАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В данной работе предложен метод, позволяющий с помощью вейвлет-анализа производить предварительную обработку изображения с целью адаптивного выбора групп преобразований в задачах нормализации. Существенно сократить время на определение параметров нормализации возможно, если определить вид воздействия, под которым может находиться изображение т.е. определить к какой группе оно принадлежит.

1. Введение

На сегодняшний день в системах технического зрения (СТЗ) используются различные методы обработки информации [1, 4]. Однако далеко не все методы обработки изображения эффективны. Эффективность методов обработки зависит от способа представления информации. Именно от способа представления информации существенно зависит результативность анализа изображения. К таким способам относятся: частотная область Фурье, область Гильбертова представления и др. Далеко не все способы представления информации отвечают современным требованиям СТЗ. Поэтому на современном этапе развития СТЗ наблюдается большой интерес к разработке новых способов представления информации, в частности используются различные алгоритмы быстрого преобразования Фурье, варианты косинусного и синусного преобразования, алгоритмы быстрого преобразования Хартли и др.

В современных СТЗ необходимо в реальном масштабе времени определять вид геометрических преобразований. Одним из методов, используемым в СТЗ, является нормализация изображений.

Нормализация изображения заключается в компенсации геометрических преобразований, полученных в результате отклонения входного изображения от эталонного. В зависимости от группы преобразования вычисляются параметры, позволяющие компенсировать геометрические преобразования. В зависимости от решаемой задачи допускается, что объект подвергнут искажениям и находится в заданной группе преобразований. Определение вида преобразования позволяет существенно сократить время на определение параметров для компенсации геометрических преобразований.

Цель работы — с помощью вейвлет-анализа определить вид геометрических преобразований с целью выбора группы преобразований применительно к задачам нормализации.

Задачи исследования — провести исследования возможности применения вейвлет-анализа для предварительной обработки изображения, исследование помехозащищенности.

2. Обработка изображения с помощью вейвлет-преобразования

Рассмотрим полутоновое дискретное изображение F на квадратной решетке $n \times n$, заданное своими отсчетами $f_{ij} \in \{0, 1, \dots, N\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, n$ (рис. 1).



Рис. 1. Пример изображения

Общая схема анализа многомерных сигналов подробно рассмотрена в [2, 3]. Для анализа изображения используют двумерное вейвлет-преобразование, которое строится как тензорное произведение одномерных функций. При этом, образуется одна скейлинг-функция

$$\phi\phi(x, y) = \phi(x)\phi(y)$$

и три вейвлета

$$\phi\psi(x, y) = \phi(x)\psi(y),$$

$$\psi\phi(x, y) = \psi(x)\phi(y),$$

$$\psi\psi(x, y) = \psi(x)\psi(y).$$

Тогда двумерные вейвлеты будут иметь следующий вид

$$\phi\phi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \phi\phi(2^i x - j, 2^i y - k),$$

$$\phi\psi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \phi\psi(2^i x - j, 2^i y - k),$$

$$\psi\phi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \psi\phi(2^i x - j, 2^i y - k),$$

$$\psi\psi_{j,k}^{(i)}(x, y) = 2^i \psi\psi(2^i x - j, 2^i y - k), i, j \in \mathbb{Z}.$$

Если изображение представлено в виде сигнала $f(x, y) \in L_2(R)$, то разложение вычисляется по формулам

$$vw_{j,k}^{(i)} = \left\langle f(x,y) \middle| \varphi \psi_{j,k}^{(i)}(x,y) \right\rangle,$$

$$wv_{j,k}^{(i)} = \left\langle f(x,y) \middle| \psi \varphi_{j,k}^{(i)}(x,y) \right\rangle,$$

$$ww_{j,k}^{(i)} = \left\langle f(x,y) \middle| \psi \varphi_{j,k}^{(i)}(x,y) \right\rangle, i, j \in Z.$$

Один шаг двумерного вейвлет-преобразования выделит одну низкочастотную $vw_{j,k}^{(i)}$ и три высокочастотных компоненты $wv_{j,k}^{(i)}$, $vw_{j,k}^{(i)}$, $ww_{j,k}^{(i)}$. Полученные матрицы будут содержать коэффициенты разложения. Схематически матрицы разложения изображения представлены на рис. 2.

$$\begin{pmatrix} vv_{0,0}^2 & \cdots & vv_{0,128}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ vv_{128,0}^2 & \cdots & vv_{128,128}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} vw_{0,0}^2 & \cdots & vw_{0,128}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ vw_{128,0}^2 & \cdots & vw_{128,128}^2 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} wv_{0,0}^2 & \cdots & wv_{0,128}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ wv_{128,0}^2 & \cdots & wv_{128,128}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ww_{0,0}^2 & \cdots & ww_{0,128}^2 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ ww_{128,0}^2 & \cdots & ww_{128,128}^2 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Схематическое размещение полученных матриц преобразования

Восстановление изображения возможно провести, используя коэффициенты разложения $vw_{j,k}^{(i)}$, $wv_{j,k}^{(i)}$, $vw_{j,k}^{(i)}$, $ww_{j,k}^{(i)}$ по формуле

$$f(x,y) \approx \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \left(vw_{j,k}^{(i)} \varphi \psi_{j,k}^{(i)}(x,y) + wv_{j,k}^{(i)} \psi \varphi_{j,k}^{(i)}(x,y) + ww_{j,k}^{(i)} \psi \varphi_{j,k}^{(i)}(x,y) \right).$$

3. Методика определения базовых групп преобразований

Для определения групп преобразования необходимо определить вид геометрического преобразования. Для определения вида геометрического преобразования предлагается производить анализ изображения с помощью вейвлет-преобразования. Полученные коэффициенты разложения позволяют локально анализировать те части изображения, по которым возможно определить к какому виду геометрических преобразований можно отнести изменение изображения. По характеру изменения характерных точек можно определить к какой группе преобразований принадлежит преобразование.

Для определения группы преобразований перейдем к анализу полученного спектра и вейвлет коэффициентов.

Схема определения группы преобразования выглядит следующим образом:

1) прослеживаем поведения коэффициентов, начиная с последнего уровня до первого;

2) на последнем уровне находим максимальные коэффициенты и прослеживаем их поведение на последующих уровнях. Анализ коэффициентов схематически показан на рис. 3;

3) вычисляем энергию максимумов коэффициентов, учитывая значения коэффициентов всех уровней разложения;

4) проводим анализ полученных энергий. Если

$$W_G = \frac{\sum \max \{W_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{W_{j,k}^{(i)2}\} B} \approx 1,$$

то преобразования изображения проходят в одной плоскости, поэтому можно сделать вывод о том, что изображение подвергнуто группе преобразований смещений $G_{c,x,y}$ или поворотов G_u , иначе изображение может быть подвергнуто изменению масштаба и принадлежит группе преобразования масштаба G_m или подвергнуто проективным искажениям и принадлежит проективной группе преобразований G_p .

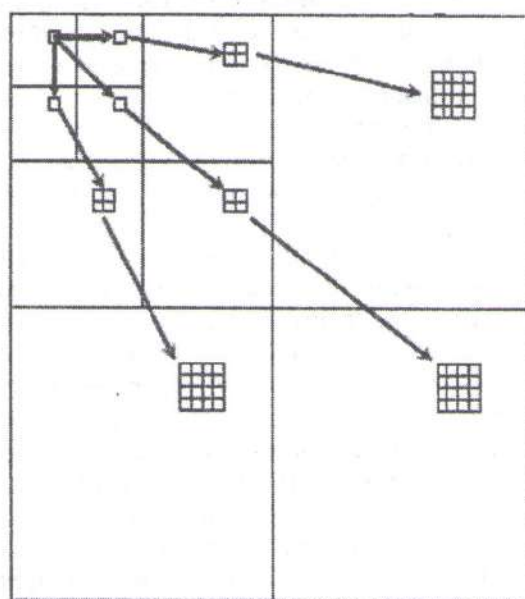


Рис. 3. Схематический анализ коэффициентов разложения

Для последующего определения групп преобразований, принадлежащих аффинной группе преобразований перейдем к рассмотрению вертикальных и горизонтальных матриц, полученных в результате разложения.

Если

$$W_G = \begin{cases} \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \approx 1 \\ \frac{\sum \max \{vw_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{vw_{j,k}^{(i)2}\} B} \neq 1 \end{cases}, \quad (1)$$

то происходит смещение по оси Y . Тогда группа преобразования соответствует группе параллельных переносов вдоль оси $G_{c,y}$. Иначе можно говорить о том, что происходит смещение по оси X , и соответствует группе переносов вдоль оси $G_{c,x}$.

Если

$$W_G = \begin{cases} \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \approx 1 \\ \frac{\sum \max \{vw_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{vw_{j,k}^{(i)2}\} B} \approx 1 \end{cases}, \quad (2)$$

то происходит смещение по оси X и Y . Тогда группа преобразования соответствует группе параллельных переносов вдоль осей $G_{c,x,y}$.

При повороте изображения значения

$$W_G = \begin{cases} \frac{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{wv_{j,k}^{(i)2}\} B} \neq 1 \\ \frac{\sum \max \{vw_{j,k}^{(i)2}\} H}{\sum \max \{vw_{j,k}^{(i)2}\} B} \neq 1 \end{cases}, \quad (3)$$

что определяет группу поворотов (вращений) на плоскости G_u .

Для определения различия между проективной группой G_p и масштаба G_m необходимо определить равенство количества максимумов:

$$\max W_{j,k}^{(i)2} H - \max W_{j,k}^{(i)2} B = 0.$$

Если количество максимумов коэффициентов разложения на H не соответствует количеству на B , то изображение подвергнуто резким искажениям и соответствует проективной группе преобразований G_p . Определение группы преобразования масштаба G_m вытекает как следствие, рассмотрев предыдущие группы.

4. Эксперименты

Произведем разложение изображения, имеющее размер 256×256 (рис. 1) с использованием ДВП, применив формулы вейвлет-преобразования.

В результате разложения сформируются матрицы детализирующих коэффициентов (рис. 4).

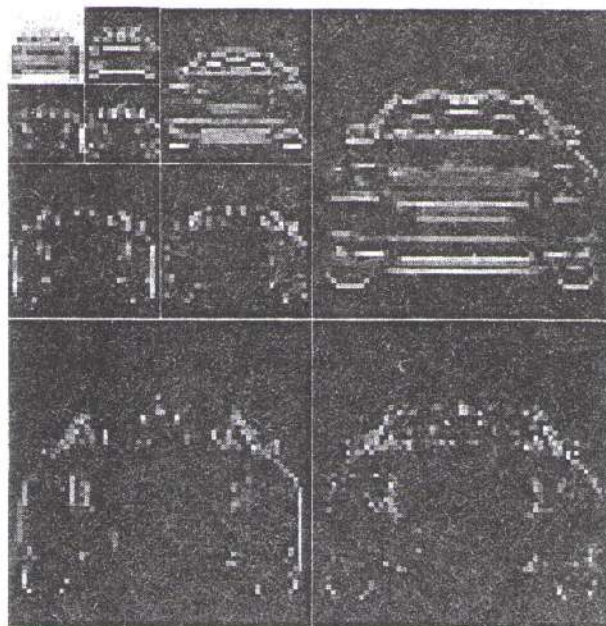


Рис. 4. Вейвлет-разложение изображения

При разложении используем вейвлет Доберши и 3 уровня декомпозиции. В результате разложения получим по три матрицы горизонтальных, вертикальных и диагональных составляющих с одинаковым разрешением, принадлежащих каждому уровню разложения (рис. 4). При этом, размер уровней декомпозиции изображения будет равен для первого уровня равным 128×128 , второго 64×64 и третьего 32×32 .

Данное разложение изображения позволяет локально анализировать структуру изображения с характерной ориентацией деталей составляющих.

Рассмотрим методику определения групп преобразований с использованием вейвлет-преобразования. Подвергнем искажению изображение, где: a_1, a_2 — смещения по координатным осям, ϕ — угол поворота, α_1, α_2 — параметры изменения масштаба.

1. Смещение изображения осуществляется по координатной оси X :

$$\begin{cases} x' = x + a_1 \\ y' = y. \end{cases}$$

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и ориентации, смещается вдоль относительно оси X . После вычисления W_G и согласно правилу (1) группа преобразования для данного смещения является $G_{c,x}$.

2. Смещение изображения осуществляется по координатной оси Y :

$$\begin{cases} x' = x \\ y' = y + a_2. \end{cases}$$

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и ориентации, смещается вдоль относительно оси Y . После вычисления W_G и согласно правилу (1) группа преобразования для данного смещения является $G_{c,y}$.

3. Смещение изображения осуществляется по координатной оси X и Y (рис. 5):

$$\begin{cases} x' = x + a_1 \\ y' = y + a_2 \end{cases}$$

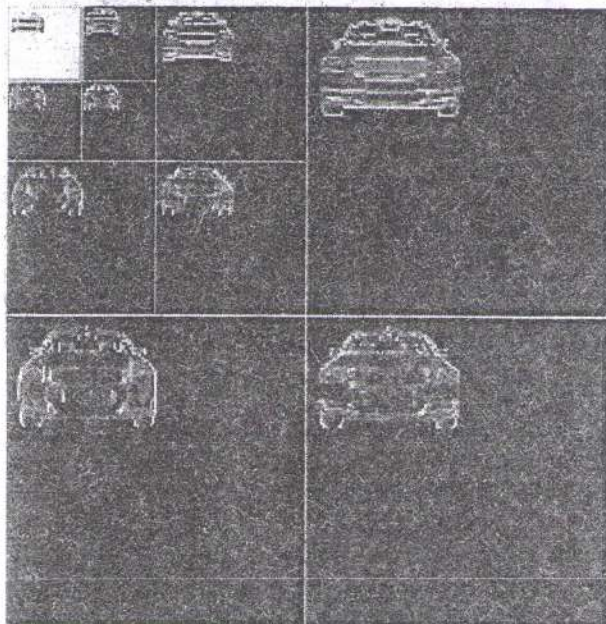


Рис. 5. Вейвлет-разложение изображения, смещенным по X и Y

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и ориентации, смещается вдоль относительно оси X и Y . После вычисления W_G и согласно правилу (2) можно утверждать, что данное преобразование относится к группе преобразования параллельных переносов вдоль координатной оси X и Y -группа преобразования для данного смещения является $G_{c,x,y}$.

4. Поворот изображения на угол φ определяется соотношениями (рис. 6):

$$\begin{cases} x' = x \cos \varphi + y \sin \varphi \\ y' = -x \sin \varphi + y \cos \varphi \end{cases}$$

В этом виде преобразования объект не меняет своих геометрических размеров и поворачивается на угол φ . После вычисления W_G и согласно правилу (3) можно утверждать, что данное преобразование группы поворотов (вращений) на плоскости G_u .

Следует отметить, что если изображение имеет фрактальную структуру, то возникают ошибки при определении рассматриваемой группы.

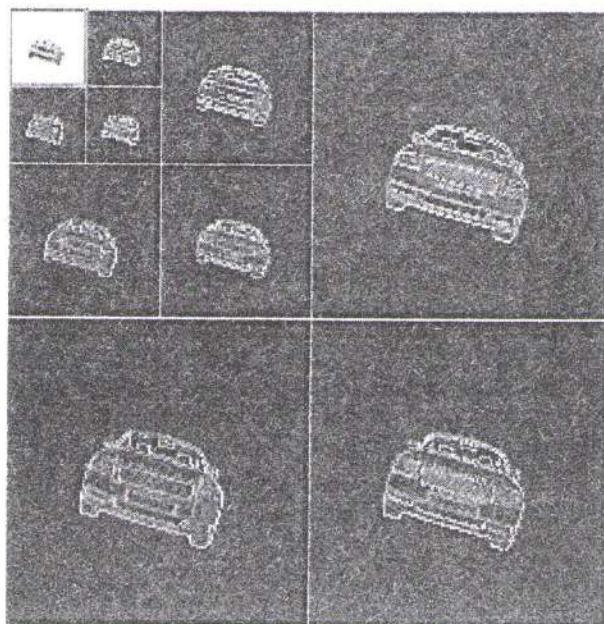


Рис. 6. Вейвлет-разложение изображения с поворотом $\varphi = 45^\circ$

5. Изменение масштаба α_1 и α_2 по осям абсцисс и ординат (рис. 7):

$$\begin{cases} x' = \alpha_1 x \\ y' = \alpha_2 y \end{cases}$$

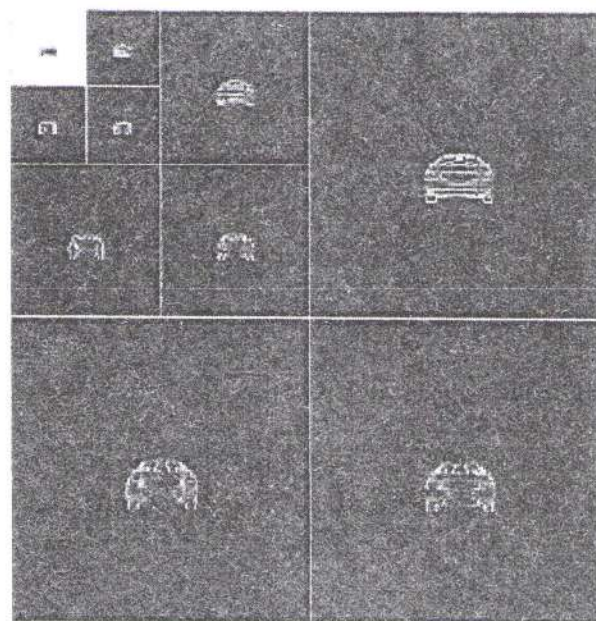


Рис. 7. Вейвлет-разложение изображения с масштабом 50%

Сложность определения группы заключается в том, что в этом виде преобразования происходит перераспределение энергии в зависимости от значений α_1 и α_2 . При неравномерном изменении значений α_1 и α_2 появляются дополнительные мак-

симумы, по которым нельзя утверждать, что изображение подвергнуто изменению масштаба. Поэтому рассматривается случай, когда значения α_1 и α_2 равны между собой.

Анализ группы масштаба возможен после рассмотрения условия (3). Если условие выполняется, то группа преобразований является G_m , иначе остается группа проективных преобразований G_p .

5. Помехозащищенность

Оценка помехозащищенности методов производилась следующим образом [1]. На вход алгоритма подавалась аддитивная смесь изображения и гауссовского шума с нулевым матожиданием и заданной дисперсией σ^2 . Отношение сигнал-шум в результате измеряется в виде $\mu = 1/\sigma$. На рис. 8 приведено зашумленное изображение для $\mu=5$ и его вейвлет-преобразование.

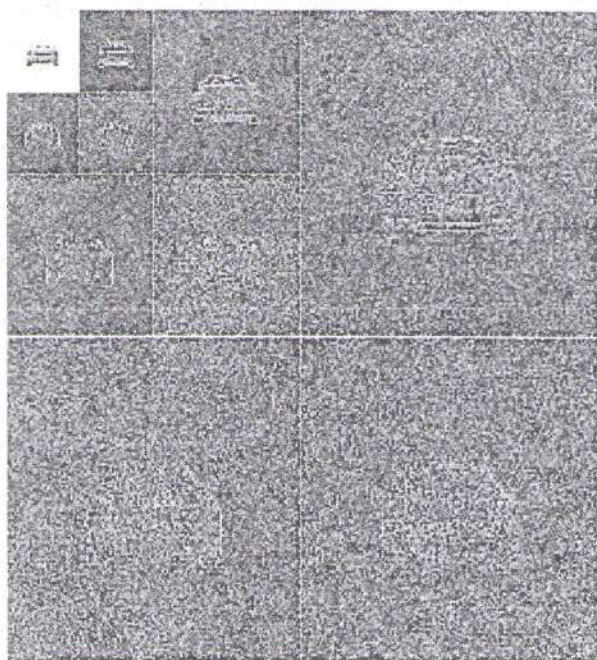


Рис. 8. Вейвлет-разложение зашумленного изображения

Определение групп смещений достаточно эффективно осуществляется при зашумленном изображении. Практически отсутствуют ошибки при определении этих групп. Группы преобразований масштаба и поворота определяются также эффективно, но при наличии шумов появляются ложные точки максимумов, принадлежащие к шуму, которые дают ложную информацию.

В табл. 1 приведены результаты определения для разных групп преобразований в зависимости от величины μ .

Таблица 1

Зависимость определения устойчивого определения групп преобразований от соотношения сигнал-шум

μ Группы	10	7	5	3	2	1	0,5
$G_{c,y}$	+	+	+	+	+	+	+
$G_{c,x}$	+	+	+	+	+	+	+
$G_{c,x,y}$	+	+	+	+	+	+	+
G_u	-	-	+	+	+	+	+
G_m	-	+	+	+	+	+	+
G_p	-	-	+	+	+	+	+

Как видим из табл. 1, предложенная методика позволяет эффективно определять группу преобразований.

6. Заключение

Новизна предложенного подхода позволяет решить проблему определения групп преобразований в задачах нормализации.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что в современных СТЗ необходимо определять вид геометрических преобразований. После определения вида геометрических преобразований возможно применять различные методы распознавания изображений. Одним из методов распознавания изображений является нормализация. Как правило, нормализация проводилась только в заданной группе преобразований. Предложенная методика снимает ограничения на проведение нормализации в заданной группе, с помощью определения групп преобразований. К недостаткам следует отнести отсутствие метода борьбы с «ложными» максимумами, которые влияют на определение групп преобразований.

По этим причинам вейвлет-преобразование можно рекомендовать для решения сложных практических задач распознавания и нормализации изображений объектов в условиях помех и фона.

Список литературы: 1. Пуятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. — Москва: Машиностроение, 1990. — 320с. 2. Петухов А.П. Введение в теорию базисов всплесков. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. — 132 с. 3. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов. — М.: Мир, 2005. — 671 с. 4. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход: Пер. с англ. — Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 928 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2005

УДК 519.713: 631.411.6

Т.В. Козуля

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У КОРПОРАТИВНІЙ ЕКОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

Вступ: актуальність роботи і зв'язок з науково-практичними задачами

Математичне моделювання в екології має свою специфіку і труднощі, пов'язані з вибором об'єктів моделювання, з великим обсягом задач, які розв'язуються у даній галузі. Частіше маємо справу з моделями на основі диференціальних рівнянь. Принцип побудови таких моделей пов'язаний з визначенням напівемпіричних закономірностей, аналогій і правдоподібних висновків, гіпотез.

В залежності від мети моделювання можна виділити два основні типи моделей: дескриптивні і моделі поведінки (Страшкраба, Гнаук, 1989).

У системі екологічного моніторингу розглядають статичні методи, які не враховують час як змінну. Вони включають просту і множинну лінійну і нелінійну кореляцію та регресію; дисперсійний, дискримінантний і факторний види аналізу; метод оцінки параметрів. Саме ці методи застосовані в роботі для аналізу функціонування локальної корпоративної екологічної системи, де основним об'єктом дослідження є ґрунт.

Динамічні методи враховують часову змінну і застосовують під час розробки моделей аналіз Фур'є, кореляційний і спектральний аналіз, вагові і передатні функції. Здебільшого такі моделі являють собою регресійні та інші кількісні залежності, які не викривають механізм процесу.

При формуванні моделі поведінки важливим є визначення структури сигналів на вході і виході системи; реакції системи на особливі умови; внутрішньої структури системи. Такий підхід дозволяє описати причинно-наслідкові зв'язки в екологічній чи будь-якій іншій системі на основі диференціальних рівнянь завдяки *сформованій концепції моделі і складених рівнянь, що відображують поведінку системи.*

За ствердженням Р. Шенона (1978), будь-яка матеріальна система є сукупністю об'єктів, що об'єднані формою (структурою) регулятивної взаємодії або взаємозалежності для її функціонування.

У науковій літературі достатньо наведено матеріалу теоретичного плану, який стосується проблем створення складних систем для прийняття управлінського рішення з метою гармонізації взаємодії системи «природа – суспільство». Запропоновано усю різноманітність світу зобразити у вигляді трьох ієрархій – природна чи фізико-біологічна, соціальна і технічна ієрархії. Об'єднання підсистем із різних ієрархій призводить до формування змішаного класу систем – еколого-антропогенних або еколого-еко-

номічних. Недоліком цих систем є те, що людина не враховується як обов'язковий складовий елемент, а їй надається роль особи, що приймає рішення (ОПР).

Рациональне природокористування спрямоване на забезпечення, в першу чергу, і переважно, ефективного та необмеженого тривалого використання природних компонентів таким чином, щоб природний комплекс не втратив здатності до реалізації своїх функцій: 1) оптимальне функціонування систем життєзабезпечення за рахунок фундаментальних екологічних процесів; 2) підтримка ємності (техно- і природо-) і буферності природних екосистем; 3) самовідновлення і збереження генофонду (маючи на увазі і людину, як біологічної складової планети) [1].

Основа еколого-економічного підходу, концепції управління якістю навколишнього середовища по суті є антропоцентричною. Інтереси інших живих істот за межами суспільства людини не відіграють ніякої ролі, навіть емпіричної. Стан суспільства є оптимальним, коли відсутня можливість зміни цього стану, при якому хоча б один його член вигравав від цієї зміни, а ніхто не програвав, згідно з критерієм Парето – оптимальності [2]. Взагалі, у формуванні нормативної частини такого підходу є необхідним компонентом економічна наука, яка виступає інструментом критичного аналізу прийняття рішення і зважування його зі станом суспільства.

Подивимося на дану проблему з точки зору екології як науки про співвідношення і стан живих організмів, включаючи людину як елемент соціальної системи. Тоді доцільно ввести глобальну корпоративну екологічну систему (КЕС) як сукупність екологічної, економічної і соціальної систем. Прийняття управлінського рішення щодо вирішення екологічних проблем необхідно перенести зі сфери функціонування еколого-економічних систем і дії критеріїв оптимізації мікро- і макроекономічних систем в нову систему – корпоративну екологічну систему (КЕС), і запровадити новий критерій оптимізації – екологічний компаратор. Він стане новим у структурі процесів прийняття і оптимізації управлінських рішень, виступаючи як корпоративне утворення, оскільки його основою буде комплекс термодинамічних показників, що контролюватимуть оптимальність функціонування живої і неживої складових природних екосистем, рівноваги техніко-економічної системи і соціальної, включаючи людину як біоелемент. Це дозво-

литель оптимізувати чи підтримувати на певному рівні оптимального функціонування, близького до нормативного стану КЕС, маючи на увазі протікання фізичних, хімічних і біологічних процесів у системі та в її окремих складових. Основою *реалізації концепції КЕС* є постійне функціонування системи глобального і регіонального моніторингу, зокрема екологічного моніторингу.

Найкращою системою екологічного управління вважається така система, яка надає переваги властивостям самопідтримки природних якостей (принцип обережного втручання) [3]. Такий підхід зважає на гармонізацію екологічних систем і процесів у них самих.

Слід зазначити, що на функціонування як екологічної, так і економічної систем значною мірою впливатиме соціальна система, де важливим є стан самої людини, як частини суспільства, так і як біологічний організм. Таким чином, актуальним і необхідним на даний момент є розробка нової концепції вирішення екологічних проблем на глобальному рівні в сучасних умовах.

Мета і задачі дослідження

Метою дослідження щодо гармонізації сталого рівноважного розвитку екологічної, соціальної і економічної систем є впровадження концепції корпоративної екологічної системи [4, 5] і визначення за її допомогою екологічного стану дослідженої території на основі даних екологічного моніторингу і впровадження термодинамічних засад під час аналізу вхідних даних. У ході теоретичного аналізу і вибору методу математичної обробки інформації щодо досягнення визначеної мети поставлено і розв'язано такі задачі:

- 1) обґрунтування структури корпоративної системи для екологічного моніторингу, яка буде екологічною, оскільки у вирішенні будь-яких питань пріоритетним є екологічні питання;
- 2) застосування корпоративної системи на мікрорівні і використання термодинамічних показників, а саме, ентропійної основи для прийняття рішення в системі екологічного моніторингу.

Матеріали досліджень і наукові результати

В екології для аналізу системи прийнято спочатку розглядати елементарну структурну одиницю, яка є об'єктом дослідження. Необхідною умовою побудови структурної одиниці є те, щоб вона зберігала усі властивості системи. Якщо брати природні екосистеми, то такою одиницею виступає біогеоценоз.

З урахуванням техногенної діяльності людини, тобто існування техносфери, змінюється об'єкт дослідження і, відповідно, елементарна структурна одиниця. У літературі [6] пропонується вважати за таку одиницю нообіогеоценоз. Це складна система за своєю структурою. Основою взаємодії системи «сус-

пільство-природа» є суспільне виробництво, усі абстрактні моменти якого входять у склад нообіогеоценозу. Основним процесом, що визначає функціонування нообіогеоценозу, як елементарної частини системи «суспільство — природа», є процес праці. Тому під час дослідження взаємодії компонентів системи «суспільство-природа» найбільшу увагу приділяють технологічним процесам і тим змінам, які вони викликають у природному середовищі.

Запропонована корпоративна екологічна система (КЕС) має більш спрощену структуру, оскільки мікроелементи не приймаються до уваги як складові при вирішенні питань оптимізації, урегулювання стану системи взагалі. Екологічна корпоративна система дозволяє абстрагуватися від тонкої структури системи і вважати відхиленням від норми будь-які порушення у будь-якому елементі, що визначається і враховується в аналізі екологічного стану через термодинамічні параметри. Такий підхід дозволяє вирішувати питання екологічного спрямування на глобальному макрорівні, а також на мікрорівні для розв'язання задач локального характеру (рис. 1).

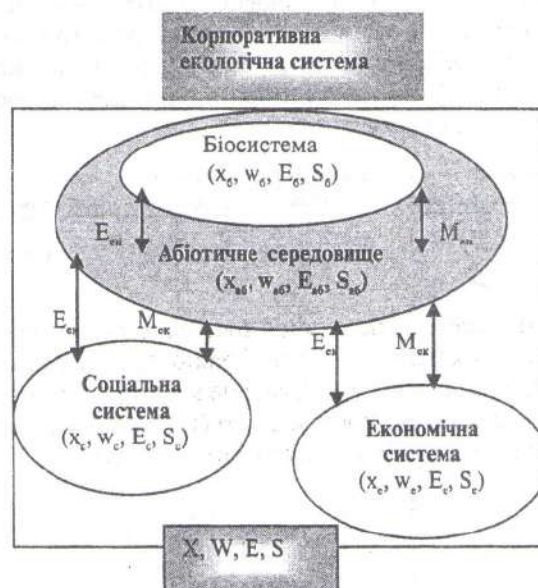


Рис. 1. Структура корпоративної екологічної структури

Таким чином, існуючий підхід до структуризації відносин «людина-природа», «економіка-природа», який має за основу досліджень ієрархічну підпорядковану модель (природно-промислова система), замінено на корпоративний підхід щодо визначення відносин між природною, екологічною, соціальною і економічною системами.

Для однозначного визначення екологічного стану навколишнього середовища як комплексу природних, соціальних і економічних систем, оптимального узгодження функціонування природних систем

і соціально-економічної діяльності доцільним є впровадження в систему екологічного моніторингу не ієрархічної, а корпоративної цілісної системи.

Саме така система матиме три рівноцінні і взаємопов'язані складові, стан яких можна однозначно визначити за одним комплексним критерієм, який відповідає за склад будь-якої складової КЕС (x), її структуру (w), енергетичний та ентропійний стан (E, S). Особливість і науково-теоретична новизна введення такого критерію полягає в тому, що він однаково визначає стан корпоративної системи в цілому і її складових окремо, враховуючи основи термодинаміки для замкнутої системи до якої можна віднести КЕС, в якій існує термодинамічний ендогенний потік енергії та речовини ($E_{\text{ен}}, M_{\text{ен}}$) і екзогенний між її складовими ($E_{\text{ек}}, M_{\text{ек}}$).

КЕС дозволяє вирішувати питання стійкого рівноважного розвитку як спрямованої, незворотної й закономірної зміни екологічної (природної), соціальної й економічної підсистем, виходячи з особливостей їхньої структури, властивостей і забезпечуючи цілісний розвиток. При цьому для КЕС екологічні проблеми є пріоритетними, оскільки саме природна складова забезпечує основу розвитку двох інших підсистем корпоративної системи. Для особи, що приймає рішення й забезпечує сприятливий соціальний і економічний розвиток суспільства, КЕС можна подати у вигляді матриці пріоритетів [7], виходячи з оцінки першочерговості вирішуваних проблем:

рівноважний соціально-економічний розвиток	екологічна підсистема C_1	економічна підсистема C_2	соціальна підсистема C_3
C_1	1	2	3
C_2	1/2	1	3/2
C_3	1/3	2/3	1

Для відбиття пропорційності переваг і погодженості для зазначеної матриці рівноважного розвитку КЕС знайдемо максимальне або головне власне значення, індекс погодженості (ІП) як відношення погодженості (ВП) і вектора пріоритетів:

$$\begin{pmatrix} 6 \\ 3 \\ 2 \end{pmatrix} : 3 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 0,6 \end{pmatrix} : 3,6 = \begin{pmatrix} 0,555 \\ 0,278 \\ 0,167 \end{pmatrix}$$

$$\Sigma = 3,6$$

Оскільки $\lambda_{\text{max}} = 2$, то $\text{ІП} = 0,5$, $\text{ВП} = 0,58$, при цьому, чим ближче значення λ_{max} до n , тим більше погоджений результат, величина випадкового індексу $\text{ВІ} = \text{ІП} / \text{ВП} = 0,86$. Відповідно до отриманих даних, найбільш пріоритетними для даної корпоративної системи є екологічні питання, а важливою підсистемою КЕС виступає екологічна або природна складова (вага 0,555).

Ідея застосування основ термодинаміки в області робіт з оптимізації управлінського рішення в системі екологічного моніторингу об'єктивно обумовлена ходом дослідження – введення КЕС як:

— необхідної моделі реалізації взаємодії між складними динамічними системами: природною екологічною, соціальною і економічною;

— оптимізації управлінського рішення щодо КЕС з метою гармонізації зв'язків природної і соціально-економічної систем та їх сталого рівноважного розвитку;

— основи ідентифікації і оцінки нормованого рівноважного розвитку КЕС і її складових завдяки впровадженню корпоративного підходу для вирішення екологічних питань мікрорівня.

Оскільки КЕС безпосередньо пов'язана з системним аналізом, то вирішення поставлених задач пов'язано з математичним описом складних об'єктів. Отримані ж таким чином результати є підставою для синтезу прогностичної інформації про функціонування КЕС.

У декількох роботах [8, 9] приділяється увага розгляду питань регулювання складних систем і створення структур банку інформації. У цих роботах вказується на необхідність міждисциплінарного підходу до вивчення подібних складових систем, як глобальної природно-соціально-економічної, але під час розгляду конкретних питань все зводиться до еколого-економічної системи і розчленування її на окремі складові з використанням при вирішенні питання прийняття управлінського рішення антропоцентризму. При цьому розчленування і багаторівневий розгляд може відповідати природній ієрархічній організації об'єктів реального світу, маючи при цьому в загальному вигляді умовний методологічний характер, який добре виражає принцип ідентифікації Лейбніца. За цим принципом система при зображенні поділяється на частини, і всі елементи, що входять у таку частину, не можна розрізнити на рівні абстракції, тоді така частина розглядається як система зі своєю особистою структурою. Саме такими частинами в КЕС є екологічна, соціальна і економічна системи. Не зважаючи на особливості їх складу і структури, вважаємо, що для вирішення проблемного питання екології – збереження всього живого і захист людини, вони мають знаходитися в оптимально-нормованому стані, а рішення з регулювання їх взаємодії $F(U)$ контролюватиметься мінімумом $F(X, W, E, S)$. Самі ж системи за складом, структурою і адаптаційними можливостями як живої, так і абіотичної складової характеризуватимуться у будь-якому проміжку часу параметрами X, W, E і S . Останні, а саме E, S є термодинамічними функціями, що є доцільним у даному підході вирішення мети дослідження, оскільки саме за допомогою термодинамічних показників можна прогнозувати стан будь-якої фізико-хімічної системи, до якої відноситься і КЕС. Перші складові X, W відповідають за вигляд системи: X – склад, W – структура.

Таким чином, КЕС – це складний, унікальний об'єкт, експеримент, з яким у прямому розумінні

цього слова неможливий. У реальних системах усі перелічені параметри розподілені за певним заданим станом системи і їх зміни визначені у часі в результаті переходу елементів із одного стану в інший. Зміни стану $F(X, W, E, S)$ учасі називається процесом. Оскільки цими змінами можна керувати, то такі процеси прийнято описувати шляхом показу закономірностей переходу від попереднього стану $F(X_i, W_i, E_i, S_i)$ до наступного $F(X_{i+1}, W_{i+1}, E_{i+1}, S_{i+1})$ на кожному кроці в залежності від управляючого впливу, який характеризується функцією $F(U)$ або деяким вектором $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ (набір управляючих параметрів), або в загальному випадку елементом множини U_0 , що називається множиною управління.

На перехід із одного стану системи в інший можуть впливати інші фактори, що не піддаються управлінню і суворому врахуванню. Вони характеризуються також як стан і управління деяким вектором чи елементом множини іншої природи, що називаються збуренням $v(i)$.

Математична модель процесу управління для нашої КЕС являє собою рівняння, що зв'язує майбутній стан системи з попереднім, управлінням і збуренням:

$$F(X_{i+1}, W_{i+1}, E_{i+1}, S_{i+1}) = f(\{t(i)\}, \{u(i)\}, \{v(i)\}). \quad (1)$$

Фактори, що не враховуються при визначенні X, W, E і S для КЕС в даний момент часу є несуттєвими і в математичній моделі їх можна не включати. Тоді рівняння (1) описує процес з повною інформацією. У цьому випадку процес повністю визначається, якщо задано початковий стан $F(X_0, W_0, E_0, S_0)$, управління на кожному кроці. В іншому разі має місце процес з неповною інформацією. Зміна стану КЕС у часі за умов визначення початкового стану, управління і збурення називають реалізацією процесу управління при заданому збуренні. При функціонуванні КЕС під збуренням вважаються потоки речовини, енергії і інформації екзогенного характеру, що змінюють взагалі стан $F(X, W, E, S)$. У подальшому під терміном «процес» розуміється математична модель реального процесу.

Усі процеси в КЕС є процесами, в яких наступний стан залежить тільки від попереднього стану, управління і, можливо, неврахованих факторів:

$$F(X_{i+1}, W_{i+1}, E_{i+1}, S_{i+1}) = f(\{t(i)\}, \{X(i)\}, \{W(i)\}, \{U(i)\}, \{v(i)\}). \quad (2)$$

Ці процеси називають процесами без наслідків, чи марківськими процесами. Швидкість зміни стану приблизно з будь-якою точністю дорівнює зміні стану, віднесеного до відповідної зміни часу, якщо останнє достатньо максимальне.

При $t(i+1) - t(i) \rightarrow 0$ маємо:

$$\dot{X}(i) \approx \frac{X(i+1) - X(i)}{t(i+1) - t(i)} \{W(i+1) - W(i)\}. \quad (3)$$

Аналогом для рівняння (2) буде рівняння вигляду:

$$\dot{F}_{X,W,E,S} = f(t, X(t), W(t), U(t), V(t)), \quad (4),$$

яке називають диференціальним рівнянням з управлінням і збуренням.

Безперервним аналогом рівняння (1) може бути рівняння з відхиленням аргументом:

$$\dot{F}_{X,W,E,S} = f(\{t - t_q\}, \{X(t - t_q)\}, \{W(t - t_q)\}, \{U(t - t_q)\}, \{V(t - t_q)\}), \quad (5)$$

де $q = 1, 2, \dots, t_0 = 0$.

На стан $F(X, W, E, S)$ і управління $F(U)$ можуть бути використані додаткові обмеження, що визначаються реальними умовами, в яких протікає процес. У моделі це досягається шляхом задання деякої множини X, W, E і S , яким належить x, w, e і s , і множини U , із якої можна вибрати управління u .

Стан КЕС відображається не кінцевим набором показників, а їх безперервним розподілом. Розподіл температури, вологості і концентрацій речовин і хімічних елементів по поверхні ґрунту подібно до розподілу енергії, ентропії, речовини по всій КЕС і її складових відображається як дифузія і перенесення (міграція). Цьому відповідають рівняння в частинних похідних:

$$\frac{\partial F_{X,W,E,S}}{\partial t} = f(t, X(t, z), W(t, z), E(t, z), S(t, z), U(t, z)), \quad (6)$$

де z — просторова змінна (параметр розподілу); $f(\cdot)$ — якийсь диференціальний оператор.

Такий підхід щодо опису КЕС є природним, оскільки і складові, і їх компоненти, і елементи — це реальні об'єкти, що відносяться до категорії складних, розподілених у просторі. Більшість моделей, існуючих на цей час, мають вигляд скупчених моделей звичайних рівнянь, оскільки природні спостереження мають дискретний характер.

Якщо виходити з основ запропонованої корпоративної системи, тоді екологічна оцінка локальної рівноваги у природних системах має бути безпосередньо пов'язана з аналізом взаємозв'язку потоків речовини з економічною системою (чи в разі мікрорівня це викиди і скиди в навколишнє середовище), а також станом здоров'я населення. Відомо, що ґрунт як об'єкт природних екосистем є центральною і найбільш складною частиною. Саме у ґрунті концентруються усі потоки речовини і енергії, які перерозподіляються між усіма іншими складовими системи, і де відбувається формування їх подальшого руху в економічну і соціальну системи. Ґрунт виступає своєрідним депо усіх потоків речовини,

зокрема забруднювачів, що впливає на рівновагу у соціальній системі.

Розглянемо, яким чином реалізуються на практиці термодинамічні підходи щодо визначення загального стану системи за даними окремих локальних процесів і явищ, які відбуваються у системі, та формується управлінське рішення при застосуванні корпоративного підходу при визначенні загальної оцінки стану дослідженої території. Для цього використано статистичні дані екологічного моніторингу ґрунтів, зразки яких були відібрані з періодичністю весна–осінь, за період з 1994 р. по 2004 р., що знаходяться під техногенним впливом Зміївської ДРЕС (Харківська обл.) і в техногенно-навантаженому районі м. Харкова. (Для прикладу взято середні чисельні значення вмісту важких металів у ґрунтах для осіннього і весняного періоду на території Зміївського району і м. Харкова, зразки яких відбиралися з 6 і 5, відповідно, постійних точок спостереження і 16 контрольних протягом 1994 – 2004 рр., що склало з урахуванням паралельного аналізу близько 400 зразків і 10800 елемент-визначень) [10].

Згідно з даними РФА у складі ґрунтів визначено на якісному рівні такі хімічні сполуки мало-розчинного і нерозчинного характеру: $Zn_2V_2O_7$, $Zn_3(VO_4)_2$, $Zn(VO_3)_2$, $Pb(VO_3)_2$, $4PbOxV_2O_5$, $Pb_3(VO_4)_2$, $PbCrO_4$, $PbCr_2O_7$, $SrCrO_4$, $SrCr_2O_7$, $Sr(VO_3)_2$, $Ni_2V_2O_7$. Таким чином, важкі метали, потрапляючи у ґрунт у вигляді оксидів, сульфідів, елементної форми, завдяки трансформації у ґрунтового розчині знаходяться в іонній формі: Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , CrO_4^{2-} , $Cr_2O_7^{2-}$, VO_3^- , $V_2O_4^{4-}$, VO_4^{3-} . Аніогени, як видно із перелічених сполук за даними РФА, утворюють оксидовміщуючі кислотні залишки, що здатні поєднуватися з катіонами металів і утворювати нерозчинні солі. Саме ці речовини хіміко-трансформаційного потоку акумулюються у ґрунтах і зменшують міграційні здатності відповідних техногенних елементів. На розповсюдження забруднювачів також значно впливає макросклад ґрунтів, що сприяє затриманню катіоногенів, оскільки частинки ґрунту мають від'ємний заряд. Структура і співвідношення макроречовин створюють певне рН-середовище, що регулює міграційні здатності політантів. Найбільшу увагу під час аналізу макроскладу ґрунту приділяють співвідношенню Al_2O_3/SiO_2 і наявності оксидів К, Са і Mg, що створюють основні умови, які збільшують міграційні здатності таких токсичних аніогенів як Cr (VI), V (V) і As(V), а також Mo і W. Значний вміст SiO_2 і наявність у ґрунтового розчині сульфат-, хлорид – іонів є умовою підкислення ґрунту, що призводить до збільшення міграційних здатностей катіоногенів важких металів, надходження їх у рослини і подальше розповсюдження по харчовому ланцюгу.

Практичні результати вимірів концентрації важких металів у зразках ґрунтів було проаналізовано за допомогою пакета програм «STATISTICA 6.0».

Математична модель залежності показника рН від вмісту основних компонентів ґрунтів та значення співвідношення головних складових ґрунтів має такий вигляд для ґрунтів міста:

$$pH = 7,3 + 0,92K_{Al/Si} \text{ або}$$

$$pH = 0,216K_{Fe/Si} + 0,711K_{Al/Si} + 7,3 \quad (7)$$

$$pH = 0,85C_{SiO_2} - 0,22C_{Al_2O_3} + 0,19C_{Ti_2O_5} + 0,13C_{K_2O, CaO, MgO}, \quad (8)$$

де $K_{Fe/Si}$; $K_{Al/Si}$ – коефіцієнти співвідношення між відповідними мікроелементами Fe/Si, Al/Si.

Для ґрунтів Зміївського району відсутня така залежність і згідно з даними статистичної обробки визначено такі параметри зв'язку між рН і складом ґрунтів (табл. 1):

Таблиця 1

Multiple Regression Results, Standard error of estimate: 0,529053012					
Dependent: pH Multiple R = 0,99992555 F = 26860,92					
R ² = 0,9998 df = 1,4 adjusted R ² = 0,9998 p = 0,000000					
Intercept: 6,9160 Std. Error: 0,2368 t (4) = 29,200					
p-level = 0,000008					
	Beta	Std. Err.	B	Std. Err.	t(4)
Intercept			6,916	0,237	29,2003
pH	0,999	0,0061	0,932	0,0057	163,8930

Математична модель формування певного рН-середовища для досліджених ґрунтів має вигляд: для ґрунтів Зміївського району –

$$pH = 0,99C_{Mo} + 0,47C_{Cr} - 49,95; \quad (9)$$

для ґрунтів міста –

$$pH = 1,1C_{Pb} + 0,07C_{Sr} - 0,16C_{Cr} + 0,22C_{Ni} - 25,8, \quad (10)$$

де C_{Mo} , C_{Cr} , C_{Pb} , C_{Sr} , C_{Ni} – концентрації молібдену, хрому, свинцю, стронцію, нікелю у ґрунтах, відповідно.

Отримані результати аналізу підтверджують думку щодо взаємодії між катіоногенами та аніоногенами у трансформаційному потоці й утворення певних умов їх акумулювання, міграції і рН-середовища: наявність у ґрунтах хроматів важких металів, які за умовами термодинаміки зменшують порушення у системі, зменшують екзогенний потік речовини у соціальну складову КЕС і спричиняють умови уникнення системою порушення рівноваги. Управління в економічній системі, що призвело до надходження потоку речовини у природні системи завдяки процесам саморегулювання і ендегенним процесам у ґрунті й екологічній системі загалом призвело до зменшення навантаження на систему в цілому, оскільки згідно з (6) матимемо

$$\frac{\partial F_{X,W,E,S}}{\partial t} \rightarrow 0.$$

Коли в результаті нестатичних процесів КЕС прийде в стан рівноваги при існуючих умовах, то ентропія її досягне максимально можливої величини. Критерієм рівноваги в КЕС буде:

$$(dS)_{U,V} = 0, (d^2S)_{U,V} < 0.$$

Заключення

Науково-практичне значення роботи

Запровадження корпоративного підходу в систему екологічного моніторингу дозволило сформулювати і обґрунтувати структуру КЕС для розв'язання екологічних задач на макро- і мікрорівні. Суттєвим при введенні КЕС є можливість порівняння результатів змін у різних складових підсистемах КЕС, як природна екосистема, соціальна і економічна системи. Застосування термодинамічного підходу й урахування комплексного критерію стану як корпоративної системи, так і її складових на основі аналізу складу, структури, енергетики та упорядкованості системи (ентропії) дозволяє визначити однозначно оптимально спрямований вплив на КЕС і її складові, який забезпечує стан рівноваги, що і є ціллю прийняття управлінського рішення в системі екологічного моніторингу.

Перспективи розвитку

1. Розробка структури бази даних для КЕС, враховуючи запропоновані підходи визначення її стану, стійкості рівноваги за термодинамічними функціями.

2. Розробка нових теоретико-практичних підходів розв'язання задачі оптимізації управлінського рішення з ціллю досягнення рівноваги у взаємодії між системами

[природна система] – [соціально – економічна система]

3. На основі статистичних даних вбачається можливим прогнозування і розробка математичних моделей формування хіміко-трансформаційних потоків з урахуванням якісного і кількісного складу техногенних речовин, макроскладу ґрунтів, рН-середовища. Визначення на основі моделей розрахункового рівня забруднення території і рівня екологічної небезпеки з боку техногенної сфери як для екосистем, так і людини.

Висновки

Аналіз існуючих підходів вирішення екологічних проблем сучасності щодо прийняття зважених оптимальних управлінських рішень з вирішення екологічних проблем дозволив визначити новий напрямок щодо розв'язання задач у системі екологічного моніторингу.

1. Розглянуто і доказано доцільність впровадження корпоративного підходу щодо вивчення і аналізу взаємодії між трьома складовими навколиш-

нього світу: природною, соціальною і екологічною системами. Останні дві з'єднані природними зв'язками речовини, енергії та інформації з природною екологічною системою і в разі КЕС являють собою термодинамічні потоки енергії і речовини екзогенного характеру, що впливають на стан корпоративної системи і її складових, який характеризується комплексним критерієм системи $F(X, W, E, S)$.

2. Основними критеріями визначення стійкого оптимально наближеного до нормативного стану КЕС, що гарантує цільність і збалансованість усіх підсистем людини є термодинамічні показники — внутрішня енергія E , ентропія S . Стан КЕС відображається не кінцевим набором показників, а їх безперервним розподілом, зміною стану відповідно до рівняння (6).

3. На основі статистичних даних вбачається можливість прогнозування і розробка математичних моделей формування хіміко-трансформаційних потоків з урахуванням якісного і кількісного складу техногенних речовин, макроскладу ґрунтів, рН-середовища. Визначення на основі моделей розрахункового рівня забруднення території і рівня екологічної небезпеки з боку техногенної сфери як для екосистем, так і людини.

Отже, визначений напрямок досліджень є перспективним щодо вирішення екологічних проблем сучасності, спрямованих на гармонізацію відносин між природною і соціально-економічною системами; розв'язання задачі оптимізації прийняття рішення у відсутності ризику для стохастичної динамічної моделі прийняття рішення в системі екологічного моніторингу.

Список літератури: 1. Лук'янін В. О. Екологічний менеджмент. Суми: ВТД „Університетська книга”, 2002. — 314 с. 2. Экологический менеджмент / Н. В. Пахомова, А. Эндрес, К. Рихтер. СПб: «Питер», 2003. — 544 с. 3. Екологічне управління / В. Я. Шевчук, Ю. М. Сатаккін, Г. О. Білявський та ін. К.: Либідь, 2004. 432 с. 4. Козуля Т. В. Теоретико-практичні підходи при оптимізації прийняття рішення в системі екологічного моніторингу // Вестник НТУ «ХПИ». Системный анализ, управление и информационные технологии. № 45. 2004. — С. 110–118. 5. Козуля Т. В. Исследование оптимальных математических подходов в управлении качеством окружающей среды на основе данных экологического мониторинга // АСУ и приборы автоматики. Вып. 129. 2004. — С. 59–66. 6. Организация природоохранной работы на предприятиях. Экологический менеджмент. Серия 12. Харьков: Учебно-консультативный центр «УкрКонсалтинг». 2003. — 309 с. 7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М. Ж Радио и связь, 1993. — 320 с. 8. Эколого-экономические системы: модели, информация, эксперимент / В. И. Гурман, В. А. Дыхта, Н. Ф. Кашина и др. Новосибирск: Наука, 1987. — 215 с. 9. Семиноженко В. П., Канило П. М., Остапчук В. Н., Ровенский А. И. Энергия. Экология. Будущее. Харьков: «Прапор», 2003. — 464 с. 10. Козуля Т. В., Глушкова Л. В., Штительман З. В. Визначення кореляцій між вмістом важких металів у ґрунтах різних екосистем при вирішенні задач математичного моделювання в екологічному моніторингу // Радіоелектроніка та інформатика. № 4. 2004. — С. 159–165.

Надійшла до редколегії 29.04.2005

АВТОРЫ ВЫПУСКА

- | | |
|-------------------------------------|---|
| Бондаренко Михаил Федорович | — д-р техн. наук, проф., ректор ХНУРЭ |
| Валенда Наталья Анатольевна | — старший преподаватель каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Волик Андрей Валентинович | — асп. каф. высшей математики, ХНУРЭ |
| Герасин Сергей Николаевич | — доц. каф. высшей математики, ХНУРЭ |
| Голобородько Николай Константинович | — д-р мед. наук, проф., зав. отделения травматического шока, Институт общей и неотложной хирургии АМН Украины |
| Дюбко Геннадий Федорович | — проф. каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Золкин Степан Георгиевич | — соискатель каф. системного анализа и моделирования, Донецкий государственный институт искусственного интеллекта |
| Золкина Элла Анатольевна | — доц. каф. системного анализа и моделирования, Донецкий государственный институт искусственного интеллекта |
| Кальницкая Анжелика Юрьевна | — ассист. каф. информационно-управляющих систем, ХНУРЭ |
| Канищева Ольга Валерьевна | — магистр каф. системного анализа и управления, НТУ «ХПИ» |
| Каук Виктор Иванович | — доц. каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Киричук Елена Павловна | — канд. техн. наук, ассистент каф. программного обеспечения компьютерных систем, НАУ «ХАИ» |
| Кобылин Олег Анатольевич | — асп. каф. информатики, ХНУРЭ |
| Козуля Татьяна Владимировна | — канд. геогр. наук, доц. каф. педагогики и психологии управления социальными системами, НТУ «ХПИ» |
| Крутько Евгений Николаевич | — врач-анестезиолог отделения травматического шока, Институт общей и неотложной хирургии АМН Украины |
| Кузнецов Сергей Тихонович | — старший преподаватель каф. информационных технологий, Государственная летная академия Украины |
| Кувшинов Александр Евгеньевич | — студент, ХНУРЭ |
| Лесная Наталья Советовна | — канд. техн. наук, проф. каф. программного обеспечения ЭВМ, проректор по научно-педагогической работе, ХНУРЭ |
| Линник Сергей Николаевич | — ассист. каф. биомедицинских электронных устройств и систем, ХНУРЭ |
| Ляховец Алена Витальевна | — студентка, ХНУРЭ |
| Павлов Дмитрий Александрович | — асп. каф. искусственного интеллекта, ХНУРЭ |
| Процай Наталья Тимофеевна | — асп. каф. программного обеспечения ЭВМ, ХНУРЭ |
| Руденко Олег Григорьевич | — д-р техн. наук, проф., зав. каф. электронно-вычислительных машин, ХНУРЭ |
| Сайед Мохаммад Таухид Сиддики | — асп. каф. автоматизированных систем управления, НТУ «ХПИ» |
| Сидорчук Надежда Николаевна | — асп. Украинского языково-информационного фонда НАН Украины |
| Слитченко Елена Викторовна | — канд. техн. наук, с. н. с. каф. теории и систем автоматизированного проектирования и машин, НТУ «ХПИ» |
| Слободырев Георгий Владимирович | — студент, ХНУРЭ |
| Сныткин Максим Сергеевич | — асп. каф. ЭВМ, ХНУРЭ |
| Смеляков Сергей Вячеславович | — д-р физ.-мат. наук, проф. каф. математического обеспечения АСУ, ХУВС |
| Тимофеев Сергей Павлович | — м.н.с., соискатель каф. искусственного интеллекта, ХНУРЭ |
| Тимофеева Елена Владимировна | — студент, ХНУРЭ |
| Чалый Сергей Федорович | — канд. техн. наук, доц. каф. информационно-управляющих систем, ХНУРЭ |
| Шаронова Наталья Валериевна | — д-р техн. наук, проф., и.о. зав. каф. педагогики и психологии управления социальными системами, НТУ «ХПИ» |
| Яхимович Михаил Николаевич | — асп. каф. системного анализа и моделирования, Донецкий государственный институт искусственного интеллекта |

УДК 004.896

Имитационное моделирование динамики нейрофизиологической реакции человека / М.Ф. Бондаренко, С.Г. Золкин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 3–6.

Описаны имитационные модели динамического прогноза нейрофизиологической реакции человека в процессе обработки различной сенсорной информации, также приведены количественные оценки значений искомых переменных, изменяющихся во времени, полученные путем решения дифференциальных уравнений, входящих в состав этих моделей.

Табл.: 10. Библиогр. наимен.: 3.

УДК 004.896

Імітаційне моделювання динаміки нейрофізіологічної реакції людини / М.Ф. Бондаренко, С.Г. Золкін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 3–6.

Описано імітаційні моделі динамічного прогнозу нейрофізіологічної реакції людини в процесі обробки різної сенсорної інформації, також наведено кількісні оцінки значень шуканих змінних, що змінюються у часі, отримані шляхом рішення диференціальних рівнянь, які входять до складу цих моделей.

Табл.: 10. Бібліогр. наймен.: 3.

UDC 004.896

Simulation modeling of the human neurophysiological reactions dynamics / M.F. Bondarenko, S.G. Zolkin // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 3–6.

The simulation models of dynamic forecast of human neurophysiological reactions in process of different touch information processing are described in the article. Quantitative estimations of sought variables, changing with time, differential equation solutions that are included in these models are also given in the paper.

Tab.: 10. Ref.: 3.

УДК 007.52

Кластеризация и классификация клиентов банка нейросетевыми методами / Н.С. Лесная, А.В. Ляховец // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 7–10.

Данная работа содержит описание исследования и программный продукт для решения задачи кластеризации и классификации клиентов банка. Кластеризация реализована с помощью искусственной нейронной сети SOM Кохонена и классификация с помощью нейронной сети встречного распространения. Это необходимо каждому банку для проявления в обществе самого привлекательного рыночного сегмента, который организация может обслуживать качественно.

Ил.: 2. Табл.: 2. Библиогр. наимен.: 6.

УДК 007.52

Кластеризація і класифікація клієнтів банку нейромережними методами / Н.С. Лесна, А.В. Ляховець // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 7–10.

Ця робота містить опис дослідження і програмний продукт для вирішення задачі кластеризації і класифікації клієнтів банку. Кластеризація реалізована за допомогою штучної нейронної мережі SOM Кохонена, та класифікація за допомогою нейронної мережі зустрічного розповсюдження. Це необхідно кожному банку для виявлення в суспільстві найпривабливішого ринкового сегмента, який організація може обслуговувати якісно.

Іл.: 2. Табл.: 2. Бібліогр. наймен.: 6.

UDC 007.52

Clusterization and classification of bank clients by neuron networks / N.S. Lesnaia, A.V. Lyakhovets // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 7–10.

The report contains description of research and program product worked out for clusterization and classification of bank clients. Clusterization is performed using Kohonen artificial neuron network SOM and classification – counter propagation neuron network. This is necessary for each bank for determining the most attractive market segment, which organization can serve efficiently.

Fig.: 2. Tab.: 2. Ref.: 6.

УДК 519.71

Решение задачи классификации с помощью искусственной нейронной сети на основе теории адаптивного резонанса / О.Г. Руденко, М.С. Сныткин, А.Е. Кувшинов // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 11–16.

В статье рассматриваются вопросы решения задачи классификации с помощью искусственной нейронной сети ART. Приведено описание структуры и алгоритмов обучения различных типов сетей ART. Также приводятся результаты моделирования, свидетельствующие об эффективности применения данных сетей для решения задач классификации.

Ил.: 3. Табл.: 5. Библиогр. наимен.: 5.

УДК 519.71

Вирішення задачі класифікації за допомогою штучної нейронної мережі на основі теорії адаптивного резонансу / О.Г. Руденко, М.С. Сниткін, О.Є. Кувшинов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 11–16.

В статті розглядаються питання вирішення задачі класифікації за допомогою штучної нейронної мережі ART. Наведено опис структури і алгоритмів навчання різних типів мереж ART. Також наводяться результати моделювання, які свідчать про ефективність застосування даних мереж для вирішення задач класифікації.

Ил.: 3. Табл.: 5. Бібліогр. наймен.: 5.

UDC 519.71

The solution of a classification problem by artificial neural network on the basis of the adaptive resonance theory / O.G. Rudenko, M.S. Snytkin, A.E. Kuvshinov // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 11–16.

Questions of the solution of a classification problem by neural networks ART are considered in this paper. The structure and algorithms of training of various types of networks ART are described. Also results of the modeling are presented. These results show efficiency of given neural networks application for the solution of classification problems.

Fig.: 3. Tab.: 5. Ref.: 5.

УДК 004.93:007.52

Исследование динамики среднего уровня и дисперсии активности нейронной сети с локальными связями / А.В. Волик, С.Н. Герасин, Е.В. Слипченко // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 17–21.

В статье дано математическое описание возникновения критического режима в сети из возбуждающих элементов с локальными связями. Получена система уравнений, описывающая динамику среднего и дисперсии уровня активности нейронной сети и проведено ее качественное исследование.

Ил.: 3. Библиогр. наимен.: 11.

УДК 004.93:007.52

Дослідження динаміки середнього рівня і дисперсії активності нейронної мережі з локальними зв'язками / А.В. Волик, С.М. Герасін, О.В. Слипченко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 17–21.

У статті дано математичний опис виникнення критичного режиму в мережі із збудливих елементів з локальними зв'язками. Отримано систему рівнянь, що описує динаміку середнього і дисперсії рівня активності нейронної мережі та проведено її якісне дослідження.

Ил.: 3. Бібліогр. наймен.: 11.

UDC 004.93:007.52

Research of dynamics of middle level and dispersion of activity of neuron network with local connections / A.V. Volik, S.N. Gerasin, E.V. Slipchenko // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 17–21.

In the article mathematical description of origin of the critical mode is given in a network from excitant elements with local connections. The system of equations, describing the dynamics of average and dispersions of level of activity of neuron network is received and its high-quality research is performed.

Fig.: 2. Ref.: 6.

УДК 681.82:519.81

Использование методов Data Mining и Text Mining для обработки текстовой информации в информационных системах / О.В. Канищева, Сайед Мохаммад Таухид Сиддики, Н.В. Шаронова // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 22–26.

В статье рассмотрен метод компараторной идентификации как один из логических методов Data Mining для решения задач обработки текстов на естественном языке в информационных системах. При этом ставится задача решения таких проблем: разработка естественно-языкового интерфейса информационной системы и моделирования определенных интеллектуальных функций человека для аналитико-синтетической обработки документов.

Ил.: 1. Библиогр. наимен.: 6.

УДК 681.82:519.81

Використання методів Data Mining і Text Mining для обробки текстової інформації в інформаційних системах / О.В. Канищева, Сайед Мохаммад Таухід Сіддікі, Н.В. Шаронова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 22–26.

У статті розглянуто метод компараторної ідентифікації як один із логічних методів Data Mining для розв'язання задач обробки текстів природної мови в інформаційних системах. При цьому ставиться завдання розв'язання таких проблем: розробка природно-мовного інтерфейсу інформаційної системи та моделювання певних інтелектуальних функцій людини для аналітико-синтетичної обробки документів.

Ил.: 1. Бібліогр. наймен.: 6.

UDC 681.82:519.81

Use of Data Mining and Text Mining methods for processing the text information in the information systems / O.V. Kanisheva, Syed Mohammad Tauhid Siddiqi, N.V. Sharonova // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 22–26.

The method comparator identification as one of Data Mining logic methods for the decision of problems of natural language text processing in information systems is considered in this article. Thus, the problem of the solution of such tasks is put forward: the development of the natural-language interface of information system and modeling of the certain human intellectual functions for analytical-synthetic processing documents.

Fig.: 1. Ref.: 6.

УДК 681.3+524

Степенные ряды золотого сечения в солнечных циклах, природных явлениях и периодах обращения планет / С.В. Смеляков // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 27–40.

В развитие аурической шкалы времени, основанной на степенных рядах золотого сечения с единицей, определяемой средней длительностью 11-летнего цикла солнечной активности, представлены новые факты, которые расширяют синхронизм периодов, определяемых этой шкалой, с явлениями естественного характера, минимальные периоды которых составляют секунды, а максимальные — десятки тысяч лет. Показано, что распределение центров энергетической эмиссии Солнечного цикла, определяемых медианами среднемесячных чисел Вольфа, также следует этой дискретной шкале. Показано, что точность полученных закономерностей соответствует точности исходных данных, а вероятность случайности их возникновения составляет величину порядка 10^{-14} .

Ил.: 2. Табл.: 9. Библиогр. наимен.: 23.

УДК 681.3+524

Ступеневі ряди золотого перетину у сонячних циклах, природних явищах і періодах обертання планет / С.В. Смеляков // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 27–40.

У розвиток аурічної шкали часу, яка заснована на ступеневих рядах золотого перетину з одиницею, визначеною середньою тривалістю 11-річного циклу сонячної активності, наведено нові факти, які розширюють синхронізм періодів, що визначаються за цією шкалою, з явищами природного характеру, мінімальні періоди яких складають секунди, а максимальні — десятки тисяч років. Показано, що розподіл центрів енергетичної емісії сонячного циклу, які визначаються медіанами середньомісячних чисел Вольфа, також дотримується цієї дискретної шкали. Показано, що точність отриманих закономірностей відповідає точності вихідних даних, а ймовірність випадковості їх виникнення складає величину порядку 10^{-14} .

Іл.: 2. Табл.: 9. Бібліогр. наймен.: 23.

UDC 681.3+524

Golden section and solar cycles in natural phenomena and bionics / S.V. Smelyakov // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 27–40.

In the development of Auric Time Scale based on the Golden section power series with the unity equal to the average Solar cycle length, new acknowledgements are presented that widen the synchronism between the ATS and planetary and Earth's phenomena periods up to seconds and dozens of millennia. It is shown that distribution of Solar cycle energy emission centers presented by medians also follows these series. The presented conclusions are confirmed by error and probabilistic estimates which show that the accuracy of the obtained correlations corresponds to the source data precision, whereas the probability of randomness of these correlations makes about 10^{-14} .

Fig.: 2. Tab.: 9. Ref.: 23.

УДК 615.47:616-072.7

Методы математического обеспечения системы диагностики биологических объектов / Н.К. Голобородько, Е.Н. Крутько, С.Н. Линник // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 41–47.

В статье рассмотрен поиск новых информационных показателей для диагностики посттравматических состояний легочной структуры. Проведен краткий обзор гемодинамических моделей функционирования легких. Предложена математическая модель системы кровообращения и воздухонаполнения легких. Экспериментально исследованы особенности сегментарных показателей легких при различных патологиях легочной структуры. На основе полученных результатов обосновано применение многомерного пространства признаков для дифференцирования заболеваний.

Ил.: 14. Табл.: 2. Библиогр. наимен.: 18.

УДК 615.47:616-072.7

Методи математичного забезпечення системи діагностики біологічних об'єктів / М.К. Голобородько, Є.М. Крутько, С.М. Лінник // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 41–47.

У статті розглянуто пошук нових інформаційних показників для діагностики посттравматичних станів легеневої структури. Проведено стислий огляд гемодинамічних моделей функціонування легень. Запропоновано математичну модель системи кровообігу та наповнення легень повітрям. Експериментально досліджено особливості сегмен-

тарних показників легенів при різних патологіях легеневої структури. На основі отриманих результатів обґрунтовано застосування простору багатовимірних ознак для диференціювання захворювань.

Лт.: 14. Табл.: 2. Бібліогр. наймен.: 18.

UDC 615.47:616-072.7

The mathematic support methods of the biological object system diagnostics / N.K. Goloborodko, E.N. Krutko, S.N. Linnik // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 41–47.

The retrieval of new informational indices for diagnostics of post-traumatic function of lungs is considered in the paper. The brief review of the hemodynamics models of lungs functioning is made. The mathematical models of the system of blood circulation and air filling of lungs are offered. The features of segmental lungs indices under different pulmonary pathology are examined. On the basis of received results the use of the space with multiple parameters for definition of the diseases is proposed.

Fig.: 14. Tab.: 2. Ref.: 18.

УДК 519.7

Методы анализа естественного языка на основе функциональной модели семантики / Н.А. Валенда, Г.Ф. Дюбко // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 48–52.

Рассмотрен метод синтаксического анализа на основе атрибутивных грамматик с использованием семантической информации. Рассмотрен метод анализа на основе фрейма предиката.

Табл.: 1. Библиогр. наймен.: 4.

UDC 519.7

Методи аналізу природної мови на основі функціональної моделі семантики / Н.А. Валенда, Г.Ф. Дюбко // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 48–52.

Розглянуто метод синтаксичного аналізу на основі атрибутивних граматик з використанням семантичної інформації. Розглянуто метод аналізу на основі фрейму предиката.

Табл.: 1. Бібліогр. наймен.: 4.

UDC 519.7

Methods of a natural language analysis on the basis of semantics functional model / N.A. Valenda, G.F. Dubko // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 48–52.

The method of syntactic analysis on the basis of attribute grammar with semantic information use is considered. The analysis method on the basis of a predicate frame is considered.

Tab.: 1. Ref.: 4.

УДК 020.23.25

Методы и технологии использования web-онтологий в образовательном процессе / Е.В. Тимофеева, А.Ю. Шевченко // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 53–57.

В данной статье приводится краткий обзор языка web-онтологий (OWL — Web Ontology Language), как механизма представления и совместного использования знаний. Обсуждаются слабые (невысокая выразительность) и сильные (высокая эффективность совместного использования) стороны языка и делается вывод о перспективности его практического использования. Рассматривается использование языка web-онтологий в учебном процессе, которое охватывает построение иерархически организованных баз знаний курсов и дисциплины, являющихся информационной основой учебного процесса.

Библиогр. наймен.: 7.

UDC 020.23.25

Методи та технології використання web-онтологій у навчальному процесі / О.В. Тимофеева, О.Ю. Шевченко // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 53–57.

У даній статті наводиться стислий огляд мови web-онтологій (OWL — Web Ontology Language), як механізму зображення та спільного використання знань. Обговорюються слабкі (невисока виразність) та сильні (висока ефективність спільного використання) сторони мови та робиться висновок щодо перспективності його використання. Розглядається використання мови web-онтологій у навчальному процесі, що охоплює будівництво ієрархічно організованих баз знань курсів та дисциплін, які є інформаційною основою навчального процесу.

Бібліогр. наймен.: 7.

UDC 020.23.25

The methods and technologies of web ontologies application in educational process / O.V. Timofeyeva, O.U. Shevchenko // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 53–57.

In this article a brief review of web ontology language (OWL — Web Ontology Language), as mechanism of representation and joint use of knowledge is offered. The weaknesses (low expressiveness) and strongholds (high efficiency of joint use) of the language are discussed and the conclusion about perspectivity of its practical use is made. The use of web ontology language in

the educational process, which covers the construction of hierarchically organized knowledge bases of courses and disciplines that are the informational basis of educational process is considered.

Ref.: 7.

УДК 519.7

Модели языка — склонение притяжательных имен прилагательных / Н.Т. Процай // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 58–65.

Введение в моделирование механизмов естественного языка средствами и методами бионики интеллекта.
Ил.: 11. Табл.: 12.

УДК 519.7

Моделі мови — відмінювання присвійних прикметників / Н.Т. Процай // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 58–65.

Введення в моделювання механізмів природної мови засобами та методами біоніки інтелекту.
Іл.: 11. Табл.: 12.

UDC 519.7

Language Model — Declension of Adjectives / N.T. Protsay // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 58–65.
Introduction to the modeling of the mechanisms natural language by means and methods of the bionics of intelligence.
Fig.: 11. Tab.: 12.

УДК 681.518:004.912

Алгебро-логические средства для идентификации и визуализации нештатных ситуаций в системах с канальной структурой / А.Л. Ерохин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 66–75.

Рассмотрено решение задачи создания алгебро-логических средств, предназначенных для идентификации и визуализации многомерной динамической информации в виде алгебры нештатных ситуаций. Предложенные методы и модели позволяют улучшить качество анализа решений путем визуализации параметров режимов сложной системы с канальной структурой.

Лл.: 1. Библиогр. наимен.: 10.

УДК 681.518:004.912

Алгебро-логічні засоби для ідентифікації та візуалізації позаштатних ситуацій в системах з каналною структурою / А.Л.Ерохін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 66–75.

Розглядається розв'язання задачі створення алгебро-логічних засобів, призначених для ідентифікації та візуалізації багатовимірної динамічної інформації у вигляді алгебри позаштатних ситуацій. Запропоновані методи і моделі дозволяють покращити якість аналізу рішень шляхом візуалізації параметрів режимів складної системи з каналною структурою.

Лл.: 1. Бібліогр. наймен.: 10.

UDC 681.518:004.912

Algebra-logic tools for visualization of abnormal situations in channel structure systems / A.Yerokhin // Bionica intellecta. № 2 (63). 2005. — P. 66–75.

The decision of task of the algebra-logic tools creation for identification and visualization of the multivariate dynamic information as algebra of abnormal situations is considered. The offered methods and models allow to improve quality of the decision analysis by visualization of modes parameters in complex system with channel structure.

Fig.: 1. Ref.: 10.

УДК 519.7

Представление схем трансляции схемами XML (с приложением к компьютерной лингвистике) / С.П. Тимофеев // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 76–86.

Предложен аппарат XML-схем трансляции, позволяющий ускорить разработку трансляторов за счет перехода к их визуальному проектированию и использования программных средств технологии XML. Приведен демонстрационный пример из компьютерной лингвистики.

Ил.: 10. Библиогр. наимен.: 20.

УДК 519.7

Подання схем трансляції схемами XML (із застосуванням до комп'ютерної лінгвістики) / С.П. Тимофеев // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 76–86.

Запропоновано апарат XML-схем трансляції, що дозволяє прискорити розробку трансляторів за рахунок переходу до їхнього візуального проектування й використання програмних засобів технології XML. Наведено демонстраційний приклад з комп'ютерної лінгвістики.

Іл.: 10. Бібліогр. наймен.: 20.

UDC 519.7

Translation Schemata Representation Using XML Schemata (With Applications To Computer Linguistics) / S.P. Timofeyev // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 76–86.

The apparatus of XML-schemata translation is proposed that allows to accelerate the translators development due to proceeding to their visual design and using XML technology software. An example from computer linguistics is given.

Fig.: 10. Ref.: 20.

УДК 519.08

Об одном алгоритме решения интеллектуальных задач / С.Т. Кузнецов // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 87–90.

Рассмотрено применение алгоритма исключения противоречий к решению задач, которые традиционно считаются прерогативой интеллекта человека. Показано, как на основании ограниченного, но функционального полного набора операций алгебры высказываний можно простым и естественным образом подготовить информационный запрос на решение задачи, после чего специально составленная компьютерная программа решения находит автоматически. Программа пригодна для решения широкого, хотя и специального круга задач и является хорошей альтернативой применения ПРОЛОГ-подобного языка программирования.

Табл.: 2. Библиогр. наимен.: 3.

УДК 519.08

Про один алгоритм розв'язку інтелектуальних задач / С.Т. Кузнецов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 87–90.

Розглянуто використання алгоритму виключення протиріч до розв'язку задач, які традиційно є прерогативою інтелекту людини. Показано, як на основі обмеженого, але функціонального повного набору операцій алгебри висловлювань можна простим та природним шляхом підготувати інформаційний запит для розв'язування задачі, після чого спеціально складена комп'ютерна програма розв'язання знаходить автоматично. Програма придатна для розв'язування широкого, хоча і спеціального кола задач та є доброю альтернативою використання ПРОЛОГ-подібної мови програмування.

Табл.: 2. Бібліогр. наймен.: 3.

UDC 519.08

About one algorithm of intellectual tasks decision / S.T. Kuznetsov // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. P. 87–90.

Application of algorithm of exception of contradictions to the tasks decision that are traditionally considered the prerogative of intellect of man is considered. Information request for test decision can be naturally prepared on the basis of the limited, but functional complete set of operations of algebra of utterances whereupon computer program finds the decision automatically. The program is suitable for the decision of wide, though special range of tasks and is the good alternative for application of the PROLOG-similar programming language.

Tab.: 2. Ref.: 3.

УДК 519.178, 519.711

Экстенсивное развитие онтологических структур / Д.А. Павлов // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 91–97.

В статье впервые предложена формальная модель экстенсивного развития онтологических структур, базирующаяся на трех основных типах развития онтологий, которая позволяет алгоритмически упрощать существующие структуры. Рассмотрены отношения нечеткого импорта онтологий, что является важным аспектом прикладного применения нечетких онтологий. Предложена формальная схема упрощения распределенной онтологии. Приведен пример использования предложенных механизмов упрощения сложной онтологической структуры.

Ил.: 7. Библиогр. наимен.: 16.

УДК 519.178, 519.711

Екстенсивний розвиток онтологічних структур / Д.О. Павлов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 91–97.

У статті вперше запропоновано формальну модель екстенсивного розвитку онтологічних структур, яка базується на трьох основних типах розвитку онтологій, що дозволяє алгоритмічно спрощувати існуючі структури. Розглянуто відношення нечіткого імпорту онтологій, що є важливим аспектом прикладного використання нечітких онтологій. Запропоновано формальну схему спрощення розподіленої онтології. Наведено приклад використання запропонованих механізмів спрощення складної онтологічної структури.

Іл.: 7. Бібліогр. наймен.: 16.

UDC 519.178, 519.711

Extensive development of ontological structures / D. Pavlov // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. P. 91–97.

A formal model of extensive development of ontological structures based on three main types of ontological development is offered. The model allows to simplify existing structures algorithmically. The relations of fuzzy ontological import that are important in applied usage of fuzzy ontologies are considered. A formal scheme of a distributed ontology simplifying is suggested. An example of applied usage of the suggested mechanisms of a complex ontological structure simplifying is given.

Fig.: 7. Ref.: 16.

УДК 519.711

Знание-ориентированный подход к построению описания бизнес-процессов / С.Ф. Чалый, А.Ю. Кальнишкая // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 98–102.

В статье рассмотрены вопросы построения описания изменяющихся в процессе выполнения бизнес-процессов. Предложена модель представления знаний о бизнес-процессах. Разработанная модель позволяет влиять на протекание бизнес-процессов в зависимости от условий их выполнения и конечных целей, которых необходимо достичь. На базе модели представления знаний разработана модель построения и корректировки описания бизнес-процессов во время их выполнения.

Ил.: 2. Табл.: 2. Библиогр. наимен.: 5.

УДК 519.711

Знання-орієнтований підхід до побудови описання бізнес-процесів / С.Ф. Чалий, А.Ю. Кальницька // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 98–102.

У статті розглянуто питання побудови описання бізнес-процесів, що змінюються в процесі виконання. Запропоновано модель подання знань про бізнес-процеси. Модель, що розроблена, дозволяє впливати на протікання бізнес-процесів залежно від умов їх виконання та кінцевих цілей, яких необхідно досягнути. На базі моделі подання знань розроблено модель побудови та корегування описання бізнес-процесів під час їх виконання.

Ил.: 2. Табл.: 2. Библиогр. наимен.: 5.

UDC 519.711

Knowledge-focused approach to construction of the business-processes description / S.F. Chaliy, A.U. Kalnitskaia // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 98–102.

The questions of construction of the business-processes description changing during performance are examined in the article. The model of representation of knowledge about business-processes is offered. The developed model allows to influence on business-processes depending on conditions of their performance and ultimate goals which are necessary for reaching. On the basis of model of knowledge representation the model of construction and correction of the business-processes description during their performance is developed.

Fig.: 2. Tab.: 2. Ref.: 5.

УДК 681.3.06

Методы исследования интеллектуальной обработки текста с использованием XML-парсеров / В.И. Каук, Г.В. Слободырев // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 103–106.

Данная работа посвящена разработке методики тестирования процессоров, выявлению определенных параметров, общих для всех парсеров, выработке определенных тестовых XML и XSLT-документов для проведения тестов. Основная задача работы — построить модель парсера, который бы соответствовал последним спецификациям W3C, на основе проведенных тестов на производительность и конформность.

Ил.: 1. Библиогр. наимен.: 6.

УДК 681.3.06

Методи дослідження інтелектуальної обробки тексту з використанням XML-парсерів / В.І. Каук, Г.В. Слободирьов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 103–106.

Дана робота присвячена розробці методики тестування процесорів, виявленню визначених параметрів, загальних для всіх парсерів, виробленню визначених тестових XML і XSLT-документів для проведення тестів. Основна задача роботи — побудувати модель парсера, який би відповідав останнім специфікаціям W3C, на основі проведених тестів на продуктивність і конформність.

Ил.: 1. Библиогр. наимен.: 6.

UDC 681.3.06

Methods of research of test intellectual processing using XML-parsers / V.I. Kauk, G.V. Slobodyrev // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 103–106.

The given work is devoted to development of a technique of processors testing, revealing certain parameters of the general for all processors, development of certain test XML and XSLT-documents for carrying out tests. The primary goal of work is to construct parser model that would correspond to last specifications W3C on the basis of the carried tests for productivity and conformity.

Fig.: 1. Ref.: 6.

УДК 658.012.011.56

Архитектурные и системотехнические подходы к конструированию Украинского национального лингвистического корпуса / Н. Н. Сидорчук // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 107–110.

Статья посвящена вопросу организации данных и эффективного выбора программных и технических средств для разработки языково-информационных проектов больших масштабов. Проблема раскрывается на примере некоторых аспектов разработанной и функционирующей в промышленном режиме в Украинском языково-информационном фонде НАН Украины фундаментальной лексикографической системы «Украинский национальный лингвистический корпус» (УНЛК). В статье обоснован выбор многоуровневой архитектуры программной системы и конкретных программных средств, рассмотрены особенности разработки и функционирования системы в онлайн-режиме.

Ил.: 1. Библиогр. наимен.: 6.

УДК 658.012.011.56

Архітектурні та системотехнічні підходи до конструювання Українського національного лінгвістичного корпусу / Н. М. Сидорчук // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 107–110.

Статтю присвячено питанню організації даних та ефективного вибору програмних і технічних засобів під час розробки мовно-інформаційних проектів великого масштабу. Проблема висвітлюється на прикладі опису певних аспектів створеної та функціонуючої у промисловому режимі в Українському мовно-інформаційному фонді НАН України фундаментальної лексикографічної системи «Український національний лінгвістичний корпус» (УНЛК). В статті обґрунтовано вибір багаторівневої архітектури програмної системи та конкретних програмних засобів, розглянуто особливості розробки та функціонування системи в онлайн-режимі.

Ил.: 1. Библиогр. наимен.: 6.

UDC 658.012.011.56

Architectural and system approaches to Ukrainian National Linguistic Corpus construction / N.M. Sidorchuk // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 107–110.

The paper is devoted to the problems of data structure organization and effective choice of software and technical solution to developing of the large scale linguistic-informational projects. The problem is described on the base of some aspects of fundamental lexicographic system "Ukrainian national linguistic corpus", which has been designed and is working now in Ukrainian Lingua-Informational Fund. The selection of design environment and multi-tier architecture for the realization of the system, distinctive features of its design and on-line functionality are viewed in the paper.

Fig.: 1. Ref.: 6.

УДК 681.324

Обобщенная интегральная модель нейрона / М.Н. Яхимович // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 111–113.

Рассмотрены способы обобщенного представления математических моделей нейрона, учитывающие помимо традиционного пространственного суммирования, также, присущий биологическим организмам временной тип суммирования; при этом способность сигнала к временному накоплению впервые выступает как настраиваемый параметр, что и составляет научную новизну исследования. Полученные модели позволяют, как частный случай получить традиционные модели нейронов, а значит, изучение их свойств сводится к изучению свойств полученных зависимостей. Практическая значимость состоит в том, что возможность настраивать параметр временного суммирования открывает новые возможности адаптации моделей нейрона в реальном времени, подобные процессам, происходящим в биологических системах. Приведена также возможная форма зависимости потенциала клетки от возбуждения в условиях непрерывного двумерного пространственно-временного поля сигналов.

Ил.: 8. Библиогр. наимен.: 3.

УДК 681.324

Узагальнена інтегральна модель нейрона / М.М. Яхимович // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 111–113.

Розглянуто способи узагальненого подання математичних моделей нейрона, що враховують крім традиційного просторового підсумовування, також, властивий біологічним організмам часовий тип підсумовування; при цьому здатність сигналу до тимчасового накопичення вперше виступає як параметр, що налаштовується, складає наукову новизну дослідження. Одержані моделі дозволяють, як окремий випадок одержати традиційні моделі нейронів, а отже вивчення їх властивостей може бути зведене до вивчення властивостей одержаних залежностей. Практична значущість в тому, що можливість налаштовувати параметр тимчасового підсумовування відкриває нові здатності до адаптації моделей нейрона у реальному часі, подібні до процесів, що відбуваються в біологічних системах. Наведено також можливу форму запису залежності потенціалу клітини від збудження в умові неперервного двовимірного просторово-часового поля сигналів.

Ил.: 8. Библиогр. наимен.: 3.

UDC 681.324

Generalized integral model of neuron / M.N. Yakhimovich // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 111–113.

The methods of the generalized presentation of mathematical models of neuron, taking into account the traditional spatial summing, inherent to the biological organisms temporal type of summing are considered; thus the capacity of signal for the temporal accumulation first comes forward as the adjusted parameter, what makes the scientific novelty of research. The received models allow, as the particular case to get the traditional models of neurons, and the study of their properties is brought to the study of properties of the received dependences. Practical meaning is that the possibility to adjust the parameter of the temporal summing opens new capacities for adaptation of neuron models in real time, similar to the processes in the biological systems. The possible form of record of cell potential dependence on excitation in the condition of the continuous two-dimensional spatio-temporal signal-field is offered.

Fig.: 8. Ref.: 3.

УДК 004.8

Синтез методики извлечения знаний для поддержки решений при выборе оборудования в технологической подготовке производства / Е.П. Киричук // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 114–118.

Предложена методика извлечения технологических знаний по выбору оборудования для последующего синтеза базы знаний, которая является основой для создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений при выборе оборудования в технологической подготовке производства. Методика основана на использовании определенной последовательности известных методов извлечения знаний. Ее синтез обусловлен сложностью и неформализованностью задачи извлечения конкретных технологических знаний для их последующего машинного представления и манипулирования.

Ил.: 1. Библиогр. наимен.: 9.

УДК 004.8

Синтез методики здобування знань для підтримки рішень при виборі обладнання в технологічній підготовці виробництва / О.П. Киричук // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 114–118.

Запропоновано методику здобування технологічних знань з вибору обладнання для наступного синтезу бази знань, яка є основою для створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при виборі обладнання в технологічній підготовці виробництва. Методика базується на використанні визначеної послідовності відомих методів здобування знань. Її синтез обумовлено складністю та неформалізованістю задачі здобування конкретних технологічних знань для їх подальшого машинного представлення і маніпулювання.

Іл.: 1. Бібліогр. наймен.: 9.

UDC 004.8

Synthesis of knowledge extracting method for decisions supporting during equipment selection in technological preparation of production / O.P. Kyrychuk // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 114–118.

Method of technological knowledge extraction of equipment selection for following knowledge base synthesis is proposed. Knowledge base is the basis for development of intellectual making decisions support system during equipment selection in technological preparation of production. The method is based on definite consecution use of known knowledge extracting methods. Its synthesis is conditioned by complexity and unformalistic task of concrete technological knowledge extracting for their following machine presentation and manipulation.

Fig.: 1. Ref.: 9.

УДК 681.3.07

Использование вейвлет-преобразования с целью определения групп преобразований для нормализации изображения / О.А. Кобылин // *Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 119–123.

В данной работе предложен метод, позволяющий с помощью вейвлет-анализа производить предварительную обработку изображения с целью адаптивного выбора групп преобразований в задачах нормализации.

Ил.: 8. Табл.: 1. Библиогр. наимен.: 4.

УДК 681.3.07

Використання вейвлет-перетворення з метою визначення груп перетворень для нормалізації зображення / О.А. Кобылин // *Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал.* № 2 (63). 2005. — С. 119–123.

У даній роботі запропоновано метод, що дозволяє за допомогою вейвлет-аналізу робити попередню обробку зображення з метою адаптивного вибору груп перетворень в задачах нормалізації.

Іл.: 8. Табл.: 1. Бібліогр. наймен.: 4.

UDC 681.3.07

Wavelet transform application for detection of transformation groups for image normalization / O.A. Kobylin // *Bionica intellecta: sci.-tech. journal.* № 2 (63). 2005. — P. 119–123.

In the work a method that allows image preprocessing for adaptive detection of transformation groups is proposed. The method is based on wavelet analysis and can be used for solving image normalization tasks.

Fig.: 8. Tab.: 1. Ref.: 4.

УДК 519.713: 631.411.6

Методологические аспекты математического моделирования процессов в корпоративной экологической системе / Т.В. Козуля // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 124—129.

В статье рассмотрены основы введения корпоративного подхода в систему экологического мониторинга для решения экологических задач макро- и микроуровня. Представлены практические результаты реализации корпоративной системы в определении экологической оценки процессов в почвах.

Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр. наимен.: 10.

УДК 519.713: 631.411.6

Методологічні аспекти математичного моделювання процесів у корпоративній екологічній системі / Т.В. Козуля // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 2 (63). 2005. — С. 124—129.

У статті розглянуто основи впровадження корпоративного підходу в систему екологічного моніторингу для вирішення екологічних задач макро- і мікрорівня. Подано практичні результати реалізації корпоративної системи у визначенні екологічної оцінки процесів у ґрунтах.

Іл.: 1. Табл.: 1. Бібліогр. наймен.: 10.

UDC 519.713: 631.411.6

Methodological aspects of mathematical modelling of processes in corporate ecological system / T.V. Kozulja // Bionica intellecta: sci.-tech. journal. № 2 (63). 2005. — P. 124—129.

In article the bases of introduction to the corporate approach in system of ecological monitoring for the decision of ecological problems of macro- and microlevel are considered. Practical results of realization of corporate system in defining an ecological estimation of processes in the soils are offered.

Fig.: 1. Tab.: 1. Ref.: 10.

ПРАВИЛА
оформления рукописей для авторов научно-технического журнала
"БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА"

Статьи оформляются в редакторе Microsoft Word. Формат страницы – А4 (210х297 мм), поля: верхнее – 25мм, нижнее – 20 мм, левое, правое – 17 мм. Количество колонок – 2, интервал между ними – 5 мм, основной шрифт Times New Roman, кегль основного текста – 10 пунктов, междустрочный интервал – множитель (1,1), абзацный отступ – 6 мм. Объем рукописи – от 4 до 12 листов (языки: русский, украинский, английский).

Согласно решению редакционной коллегии, основанному на Постановлении Президиума ВАК Украины от 15.01.2003 №7-05/1 (Бюллетень ВАК, №1 2003, с.2) статья должна быть структурирована и содержать следующие необходимые элементы: введение (постановка проблемы в общем виде, анализ исследований в данной предметной области); цель статьи (постановка задачи), изложение основного материала исследований с обоснованием полученных научных результатов; выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении

Структура рукописи: УДК, инициалы и фамилии авторов (в алфавитном порядке), заголовок, основной текст, список литературы.

Заголовок статьи - кегль 12.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 621.396.961.1

И.О. Фамилия, И.О. Фамилия

НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

Основной текст следует разделять на подразделы с заголовками, выделенными жирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, интервал: перед – 6 пт, после – 3 пт.

1. Название раздела

Определения выделяются в тексте курсивом.

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде встроенных объектов и отдельно нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией, при наличии более одного объекта. Все надписи в рисунках и таблицах должны быть выполнены шрифтом Times New Roman, кегль в рисунках – 10, в таблицах – 9.

Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись (вне рисунка), шрифт 9, интервалы перед и после по 6 пт., как показано на рис. 1. Ширина рисунка должна соответствовать ширине колонки (или ширине страницы).

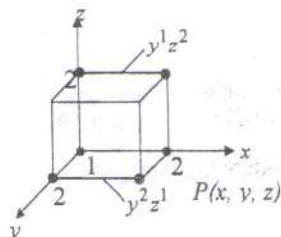


Рис. 1. График трехместного бинарного предиката

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы, шрифт 9), как показано в табл. 1.

Таблица 1					
x	3	2	1	0	2
y	0	1	2	3	2
P(x, y)	1	1	1	1	1

Формулы, символы, переменные, должны быть набраны в редакторе формул MathType (Equation). Формулы располагаются по центру и нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Шрифт – Times New Roman. Высота переменной – 10 пунктов, индексов и подиндексов – 8 пт, основной мат. символ – 12 (10) пт. Курсив в стиле формул включают только для текста и переменных. Переменные, содержащиеся в тексте, также набираются в редакторе формул.

$$F(X_1, \dots, X_n) = \vee F(\delta_1, \dots, \delta_n) x_1^{\delta_1} \dots x_n^{\delta_n} \quad (1)$$

Список литературы, оформленный по ГОСТу, включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки [1], печатается без абзацного отступа, кегль 9 пунктов, интервал перед 6 пт.

Поступила в редколлегию 00.00.2005

Рефераты представляются на трех языках: русский, украинский и английский (Times New Roman, кегль – 9 пунктов).

УДК 000.000.00

Название статьи / И.О. Фамилия, И.О. Фамилия // Бionika интеллекта: научн.-техн. журнал. № 00 (00). 2005. — С. 00–00.

Текст реферата (3–4 предложения).

Ил.: 00. Табл.: 00. Библиогр. наимен.: 00.

УДК 000.000.00

Назва статті / І.Б. Прізвище, І.Б. Прізвище // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 00 (00). 2005. — С. 00–00.

Текст реферату (3–4 речення).

Ил.: 00. Табл.: 00. Бібліогр. наймен.: 00.

UDC 000.000.00

Title of paper / Initials. Surname // Bionika intellecta: Sci.-tech. journal. № 00 (00). 2005. — P. 00–00.

Text of abstract (3–4 sentences).

Fig.: 00. Tab.: 00. Ref.: 00.

Представление материалов: рукопись, рефераты, сведения об авторах (фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, место работы, адрес, контактные телефоны) – на электронном носителе. Твердая копия материалов в одном экземпляре: рукопись, рефераты, сведения об авторах, рецензия, подписанная доктором наук, акт экспертизы, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах. Материалы, не соответствующие требованиям, редколлегией не рассматриваются.

Адрес редакции:

Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, ХНУРЭ, к. 437, тел.: 702-13-97, факс 702-15-15,

e-mail: innov@kture.kharkov.ua

INSTRUCTIONS TO AUTHORS
of manuscripts for scientific journal
"BIONICA INTELLECTA"

Manuscripts should be submitted in Microsoft Word. Page format – A4 (210x297 mm), margins: top – 25 mm, bottom – 20 mm, left, right – 17 mm. Double column format with 5 mm spacing, font – Times New Roman, font size – 10 points, line spacing – multiplier at 1,1, indentation – 6 mm. Manuscript should be from 4 to 12 pages (languages: Russian, Ukrainian, English).

According to the Editorial board resolution, based on The Presidium Convention of Ukraine Supreme Attestation Committee of 15.01.2003 №7-05/1 (Bulletin of Supreme Attestation Committee, №1 2003, p.2) **manuscripts must be compiled in the following order:** introduction (general statement of the problem, analysis of research in given field); purpose of manuscript (statement of the problem), presentation of main research material with substantiation of received scientific results; conclusion and future prospects for the given research.

Manuscript structure: Universal Decimal Classification (UDC), initials, surname of authors (in alphabetical order), title, main text, references.

Manuscript title – font size 12 pt.

SAMPLE

UDC 621.396.961.1

Initials. Surname, Initials. Surname

MANUSCRIPT TITLE

Main text should be divided in subsections with boldfaced captions numbered using Arabic numerals, spacing: before – 6 pt, after – 3 pt.

1. Section caption

Definitions must be italicized.

Figures and tables (black-and-white, sharp and of good contrast) should be in a text after its first reference as embedded item and numbered consecutively using Arabic numerals, in case of more than one item. All legends to figures and tables should be in Times New Roman font, font size in figures – 10, in tables – 9.

Figure has centered figure legend (outside a figure), font size 9, spacing before and after – 6 pt., as it is shown on fig. 1. Figure width must meet the column width (or page width).

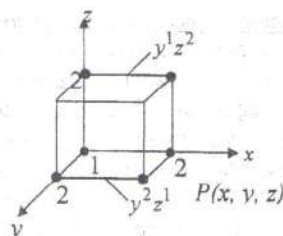


Fig. 1. Diagram of three-place binary predicate

Table caption is aligned right and placed above a table (outside a table, font 9), which is shown in tab. 1.

Table 1					
x	3	2	1	0	2
y	0	1	2	3	2
P(x, y)	1	1	1	1	1

Equations, symbols, variables, should be submitted in MathType (Equation). Equations are centered and numbered in case of references in the text. Font – Times New Roman. Size of variable – 10 points, superscript and subscript characters – 8 pt, full math. symbol – 12 (10) pt. Only text and variables are to be italicized in equation bar. Variables that are in the text are also submitted in MathType (Equation).

$$F(X_1, \dots, X_n) = \vee F(\delta_1, \dots, \delta_n) x_1^{\delta_1} \dots x_n^{\delta_n} . \quad ($$

References, submitted according to the state standards, include published sources that are referenced to in the main text in square brackets [1], without indentation, 9 pt., spacing before – 6 pt.

Received by Editorial board on 00.00.2005

Abstracts are submitted in three languages: Russian, Ukrainian, English (Times New Roman, 9 point).

УДК 000.000.00

Название статьи / И.О. Фамилия, И.О. Фамилия // Бionика интеллекта: науч.-техн. журнал. № 00 (00). 2005. — С. 00–00.

Текст реферата (3–4 предложения).

Ил.: 00. Табл.: 00. Библиогр. наимен.: 00.

УДК 000.000.00

Назва статті / І.Б. Прізвище, І.Б. Прізвище // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. № 00 (00). 2005. — С. 00–00.

Текст реферату (3–4 речення).

Іл.: 00. Табл.: 00. Бібліогр. наймен.: 00.

UDC 000.000.00

Title of paper / Initials. Surname // Bionica intellecta: Sci.-tech. journal. № 00 (00). 2005. — P. 00–00.

Text of abstract (3–4 sentences).

Fig.: 00. Tab.: 00. Ref.: 00.

Manuscript submission: manuscript, abstracts, information about the authors (authors' full names, academic or professional affiliations, address, contact telephone number) are stored on a digital device. One hard copy of materials must be presented: manuscript, abstracts, information about the authors, manuscript reference signed by PhD, certificate of expertise, application for Editor-in-Chief with information about the authors. Materials that do not meet the requirements are not considered by the Editorial Board.

Editorship address:

Ukraine, 61166, Kharkov, Lenin ave., 14, KNURE, suite 437, tel.: 702-13-97, fax 702-15-15,

e-mail: innov@kture.kharkov.ua