

00710
1702

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник

Основан в 1968 г.

ВЫПУСК 50

35-летию
кафедры ПО ЭВМ
посвящается



737811

Харків
Харківський державний технічний
університет радіоелектроніки

1999

007(06)

УДК 519.7

772

В сборнике публикуются статьи по *БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА*. Рассматриваются: теория распознавания изображений; вопросы методологии бионики интеллекта; логическая алгебра; моделирование работы органов чувств; теория естественного языка; машинная лингвистика; инженерия знаний; теория баз данных; модели социально-экономических процессов.

Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.

У збірнику публікуються статті з *БІОНИКИ ІНТЕЛЕКТУ*. Розглядаються: теорія розпізнавання зображень; питання методології біоніки інтелекту; логічна алгебра; моделювання роботи органів відчуттів; теорія природної мови; машина лінгвістика; інженерія знань; теорія баз даних; моделі соціально-економічних процесів.

Для викладачів вищих закладів освіти, науковців і фахівців.

The journal publishes articles on the *BIONICS OF INTELLIGENCE*. The topics considered are: pattern recognition, developing methods for the bionics of intelligence, logical algebras, modelling perception, natural language theory, computer linguistics, knowledge engineering, database theory, modelling social and economic processes.

The issue is intended for university teachers, research workers and specialists.

Редакционная коллегия: д-р техн. наук, проф. М.Ф. Бондаренко (гл. ред.), д-р техн. наук, проф. Ю.П. Шабанов-Кушнарченко (отв. ред.), канд. техн. наук В.А. Чикина (зам. отв. ред.), д-р техн. наук, проф. Н.Н. Буслик, д-р техн. наук, проф. Т.К. Винцюк, канд. техн. наук, доц. З.В. Дударь, д-р техн. наук, проф. А.В. Королев, д-р техн. наук, проф. А.А. Павлов, д-р техн. наук, проф. Е.П. Путятин, д-р техн. наук, проф. А.А. Рось, д-р техн. наук, проф. И.Б. Сироджа, д-р техн. наук, проф. А.Д. Тевяшев, д-р техн. наук, проф. И.Г. Филиппенко, д-р техн. наук, проф. О.Н. Фоменко, д-р техн. наук С.Ю. Шабанов-Кушнарченко, д-р физ.-мат. наук, проф. М.М. Шлезингер, д-р физ.-мат. наук, проф. С.В. Яковлев

Ответственный за выпуск канд. техн. наук В.А. Чикина

Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по физико-математическим и техническим наукам

Адрес редакционной коллегии: Украина, 310726, Харьков-726, просп. Ленина, 14, Харьковский государственный технический университет радиоелектроники (ХТУРЭ), тел. 40-94-46

© Харківський державний технічний університет радіоелектроніки, 1999

Е. П. ПУТЯТИН

ПРОБЛЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

1. Введение

Обработка изображений в целях их распознавания является одной из центральных и практически важных задач при создании систем искусственного интеллекта.

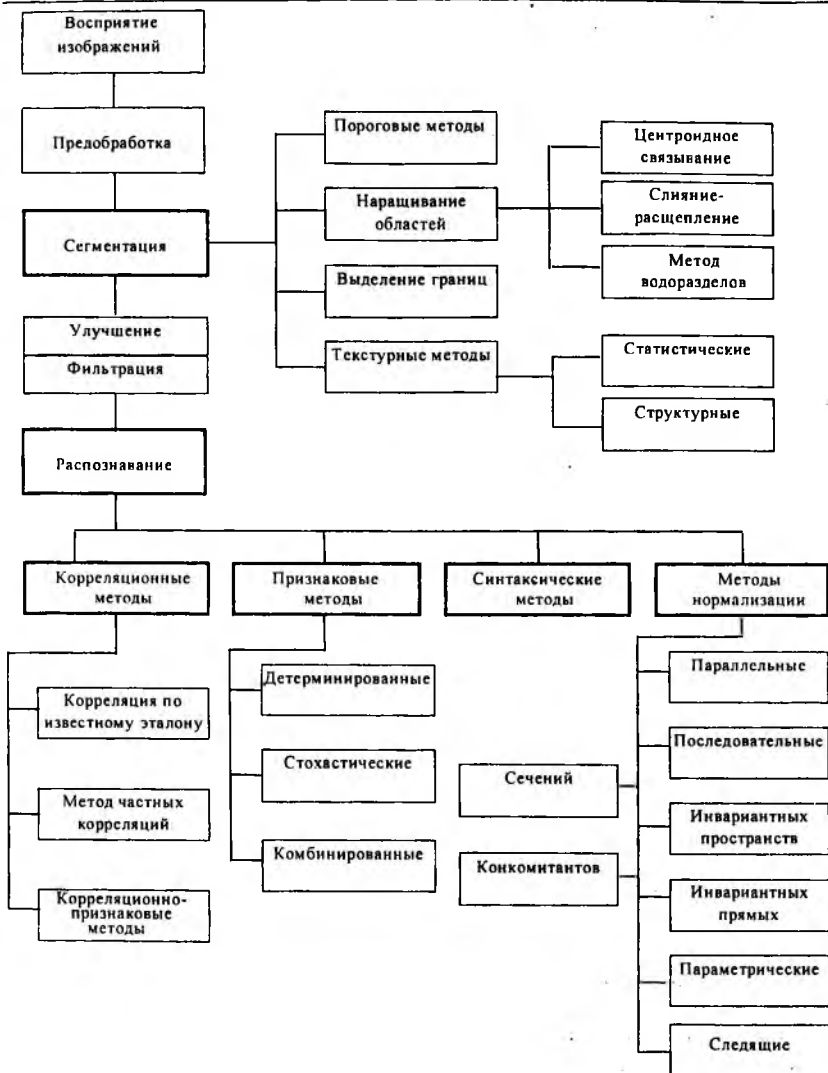
Проблема носит комплексный иерархический характер и включает ряд основных этапов: восприятие поля зрения, сегментация, нормализация выделенных объектов, распознавание. Такой важный обязательный этап как понимание (интерпретация) изображений включается частично в этап сегментации и окончательно решается на этапе распознавания.

Основным элементом любой задачи распознавания изображений является ответ на вопрос: относятся ли данные (входные) изображения к классу изображений, который представляет этот эталон? Казалось бы, ответ можно получить, сравнивая непосредственно изображение с эталонами (или их признаками). Однако возникает ряд специфических трудностей и проблем, особенно при создании систем технического зрения (СТЗ):

1. Изображения предъявляются на сложном фоне.
2. Эталонные и входные изображения отличаются положением в поле зрения.
3. Входные изображения не совпадают с эталонами из-за случайных помех.
4. Отличия входных и эталонных изображений возникают в результате изменения освещенности, подсветки, локальных помех.
5. Эталоны и изображения могут отличаться геометрические преобразования, включая такие сложные как аффинные и проективные.

Для решения задачи в целом и на отдельных ее этапах применяются различные методы сегментации, нормализации и распознавания.

Литературные источники, например [1-3], и многолетний опыт работы в области обработки зрительных картин позволяют предложить классификацию основных методов обработки и распознавания СТЗ изображений в соответствии со схемой, приведенной на рисунке. На схеме указаны основные процедуры и методы обработки от начального этапа восприятия поля зрения посредством датчиков, например, телекамеры до конечного, которым является распознавание.



Основные процедуры и методы распознавания изображений

Операция предобработки применяется практически всегда после снятия информации с видеодатчика в целях снижения помех на изображении, возникших в результате дискретизации и квантования, а также подавления внешних шумов. Как правило, это операции усреднения и выравнивания гистограмм.

2. Сегментация

Сегментацию обычно понимают как процесс поиска однородных областей на изображении. Этот этап весьма трудный и в общем виде не алгоритмизированный до конца для произвольных изображений. Наиболее распространены методы сегментации, основанные на определении однородных яркостей (цветов) или однородностей типа текстур.

При существовании стабильных различий в яркостях отдельных областей поля зрения применяются пороговые методы. Методы наращивания областей эффективны при наличии устойчивой связности внутри отдельных сегментов. Метод выделения границ хорошо применять, если границы достаточно четкие и стабильные. Перечисленные методы служат для выделения сегментов по критерию однородных яркостей. Заметим, что один из самых эффективных методов наращивания областей предполагает выбор стартовых точек либо с помощью оператора (алгоритм центроидного связывания), либо автоматически. Эффективным представляется метод водоразделов, основанный на поиске локальных минимумов с последующей группировкой вокруг них областей по связности.

Все методы приемлемы с точки зрения вычислительных затрат, однако для каждого из них характерна неоднозначность разметки точек в реальных ситуациях из-за необходимости применения эвристик (выбор порогов совпадения яркостей, цифровых масок и т.д.). В связи с этим заслуживает внимания метод многозначной разметки, основанный на комбинации различных приемов для снижения неопределенности. Важное практическое значение имеют допускающие параллельную обработку алгоритмы ускорения процесса разметки на основе логического анализа соседних элементов [3].

Для описания и сегментации свойств изображений (однородности, шероховатости, регулярности) применяют текстурные методы, которые делятся условно на две категории: статистические и структурные. Примером статистического подхода является использование матриц совпадений, формируемых из исходных изображений, с последующим подсчетом статистических моментов и энтропии. При структурном подходе, например, на основе мозаики Вороного, строится множество многоугольников. Многоугольники с общими свойствами объединяют в области. Для исследования общих свойств часто используют признаки - моменты многоугольников.

После сегментации возникают помехи в виде как разрозненных изменений изолированных элементов изображения, так и искажений некоторых связных областей. Отметим, что на практике наиболее распространены цифровые фильтры-маски и нелинейные фильтры типа медианных. В случае сегментации путем выделения границ использование усредняющих фильтров-масок невозможно, так как границы при этом

не подчеркиваются, а размываются. Для подчеркивания контуров применяются специальные операторы интегрального типа.

3. Распознавание

Распознавание - чаще всего конечный этап обработки, лежащий в основе процессов интерпретации и понимания. Входными для распознавания являются изображения, выделенные в результате сегментации и частично отреставрированные. Они отличаются от эталонных геометрическими и яркостными искажениями, а также сохранившимися шумами.

Для реальных задач распознавания применяются в основном четыре подхода, которые используют следующие методы: корреляционные, основанные на принятии решений по критерию близости с эталонами; признаковые и синтаксические - наименее трудоемкие; нормализации, занимающие промежуточное положение по объему вычислений.

Каждый из подходов в распознавании имеет право на существование. Более того, в рамках каждого подхода есть свои конкретные алгоритмы, имеющие определенную область применения, которая зависит от характера различий входных и эталонных изображений, от помеховой обстановки в поле зрения, требований к объемам вычислений и скорости принятия решений.

Корреляционные методы широко применяются при обнаружении и распознавании изображений в системах навигации, слежения, промышленных роботах. При полностью заданном эталоне многошаговая корреляция путем сканирования входного поля зрения является по сути полным перебором в пространстве сигналов. Поэтому данную процедуру можно считать базовой, потенциально наиболее помехоустойчивой, хотя и самой трудоемкой. Все остальные методы направлены на сокращение вычислительных затрат при попытке обеспечить наперед заданную надежность распознавания, габаритно-весовые характеристики вычислителя и стоимость расходов на создание программных и технических средств. Однако строгой математической модели оптимизации подобной задачи еще не создано.

Значительно более простые с точки зрения вычислительной сложности методы основаны на переходе в пространство признаков, которые характеризуются существенно меньшей размерностью по сравнению с пространством сигналов (изображений). В зависимости от поставленной цели (например, достижения заданной точности) выполняется корреляционная обработка признаков, полученных от эталонного и входного изображений, как с использованием порогов по величине сходства, так и без установления порога (когда ищется максимум сходства). При этом актуальной является задача комплексирования разнотипных и разношкальных признаков (метрических, статистических, логических, текстурных, структурно-лингвистических и др.), полученных различными измерительными средствами в целях решения задачи распознавания (обнаружения). Новые подхо-

ды, основанные на параллельно-фрагментной обработке комплексированных данных корреляционным методом, изложены в [4].

Наиболее помехоустойчивыми при действии как случайных, так и локальных помех являются алгоритмы, основанные на методе частных корреляций. При этом частные коэффициенты корреляций, полученные для отдельных фрагментов эталона в сигнальном пространстве, могут рассматриваться как признаки (в общем случае разношкальные). Обработка таких признаков, т.е. их свертка, зависит от типа изображений, помеховой обстановки (например, степени заслонения полезного изображения, наличия ложных изображений в поле зрения) и может быть осуществлена методами проверки статистических гипотез [3,4].

Признаковые и синтаксические методы - наиболее разработаны в теории распознавания образов. Они основаны на статистических и детерминированных подходах. Главная трудность признаковых методов - выбор признаков. При этом исходят из естественных правил: а) признаки изображений одного класса могут различаться лишь незначительно (из-за влияния помех); б) признаки изображений разных классов должны существенно различаться; в) набор признаков должен быть минимально возможным, так как от их количества зависит и надежность, и сложность обработки.

В первом приближении синтаксические методы можно отнести к признаковым, поскольку они основаны на получении структурно-лингвистических признаков, когда изображение дробится на части - производные элементы (признаки). Вводятся правила соединения этих элементов, одинаковые для эталонного и входного изображений. Анализ полученной таким образом грамматики обеспечивает принятие решений.

Алгоритмы корреляционно-признаковых и признаковых методов достаточно близки, и первые можно рассматривать как частный случай вторых. Хотя признаковые методы и не обладают такой помехозащищенностью, как чисто корреляционные или методы частных корреляций (в сигнальных пространствах), однако благодаря меньшим трудозатратам их применение полезно на первом этапе, когда решается задача о неэквивалентности. При этом часть входных изображений, признаки которых не соответствуют ни одному из эталонов, отбрасываются сразу.

Методы нормализации при распознавании занимают промежуточное место между сигнальными корреляционными и признаковыми алгоритмами. В отличие от признаковых при нормализации изображение не «теряется», а только замещается изображением того же класса эквивалентности. В то же время, в отличие от корреляционных методов, множество входных изображений заменяется множеством нормализованных. Каждое нормализованное изображение, в общем случае, находится гораздо ближе к своему

эталону (с позиции групповых преобразований), что значительно сокращает количество корреляций на завершающем этапе распознавания.

Суть нормализации заключается в автоматическом вычислении неизвестных параметров преобразований, которым подвергнуты входные изображения, и последующем приведении их к эталонному виду. Процедура преобразований производится с помощью операторов нормализации (нормализаторов), а параметры вычисляются функционалами, действующими на множестве изображений. В [3] подробно излагаются параллельные и последовательные, параметрические и следящие нормализаторы, которые эффективно применяются для базовых преобразований: смещений, поворотов, растяжений, косых сдвигов и некоторых их комбинаций. Остается открытым вопрос о поиске универсальных и надежных нормализаторов для сложных групп преобразований – аффинных и проективных.

Параллельная нормализация методом сечений не всегда приводит к однозначному определению параметров аффинных или проективных преобразований, несмотря на кажущуюся универсальность. В самом деле, всякий раз для нового изображения возникает вопрос о рациональном разбиении на градации яркости полутоновых изображений. Это требует постоянного присутствия оператора и интерактивного режима работы. Кроме того, изображения типа «силуэт», а также малоградационные вообще не поддаются нормализации этим методом.

Метод полиномиальных конкомитантов обладает значительной общностью и универсальностью, однако имеет чрезвычайно высокую вычислительную трудоемкость и низкую точность в связи с накоплением ошибок вычислений.

Наибольший интерес на данном этапе развития теории нормализации представляют последовательные методы, основанные на поэтапном вычислении параметров сложных преобразований и применении частичных нормализаторов на каждом этапе. Последовательные методы предполагают возможность разложения сложных групп на более простые подгруппы. Например, аффинную группу преобразований G_a можно представить в виде суперпозиции центроаффинной G_p и группы параллельных смещений: $G_a = G_p G_c$. Это разложение позволяет ставить вопрос о последовательной нормализации с помощью суперпозиции частичных: $F_a = F_p F_c$, где F_c - нормализатор центрирования (смещений); F_p - нормализатор центроаффинной группы, которая однозначно определяется матрицей $A = (a_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots$

В свою очередь, чтобы применить частичные нормализаторы к центроаффинным преобразованиям изображений, необходимо уметь разлагать матрицу A на составляющие. При этом не все разложения равноценны с точки зрения практической реализации.

Так, известно представление квадратной матрицы в виде комбинации самосопряженной и ортогональной. Самосопряженную матрицу можно

выразить произведением ортогональной из собственных векторов, диагональной и обратной ортогональной. В результате $A=K\Lambda L$, где K , L - ортогональные матрицы, в частности, повороты; Λ -вещественная диагональная матрица.

Это разложение можно использовать для построения суперпозиции соответствующих частичных нормализаторов аффинной группы [3]. Однако практическое применение указанного разложения вызывает большие трудности. В частности, возникает неоднозначность при равенстве масштабных коэффициентов матрицы Λ (теряет смысл второй поворот). Кроме того, возникают существенные ограничения на величины углов поворотов, которые можно определить (не более $\pi/4$).

Другие разложения, полученные нами в последнее время ($A=\Lambda XU$, $A=Y\Lambda X$, $A=\Lambda YU$, $A=\Lambda YX$, где X, Y - соответственно матрицы косых сдвигов вдоль оси x и вдоль оси y ; U -матрица поворота), оказываются практически более удобными и не имеют ограничений, отмеченных выше. В этой связи значительный интерес представляет разрабатываемый в настоящее время подход, основанный на инвариантных прямых при аффинных преобразованиях. Речь идет о фундаментальном свойстве аффинной группы преобразований: прямые переходят в прямые независимо от конкретных параметров преобразований. Доказана возможность перехода от двумерного анализа изображения к анализу его линейных сечений, что позволяет не только упростить вычисления, но и достичь прогресса в расширении типов допустимых входных изображений. Этому в решающей степени способствуют новые разложения центроаффинной группы, приведенные выше.

Определенный интерес представляет применение инвариантных процедур по полю зрения [4]. Так, применение преобразований по модулю Фурье позволяет произвести автоматическое центрирование изображений. Модуль преобразования Меллина инвариантен к изменению масштабов по осям. На базе оператора Гаммерштейна строятся инварианты к центроаффинным преобразованиям. Такие операторы позволяют применять последовательную нормализацию при сложных преобразованиях вплоть до проективных. Однако эксперименты показывают, что их эффективное использование возможно только для хорошо сегментированных изображений. При этом объемы вычислений в реальных системах часто выходят за рамки допустимых.

Нормализация проективных преобразований представляет собой трудную и еще не решенную до конца задачу. Прогресс достигнут по отдельным подгруппам проективной группы, которая характеризуется в общем восемью независимыми параметрами. Так, для нормализации ортогональной проективной подгруппы, которая характеризуется тремя параметрами, получены функционалы общего вида:

$$\Phi_1 = \iint_D \frac{xV(x, y)}{(x^2 + y^2 + 1)} dx dy, \Phi_2 = \iint_D \frac{yV(x, y)}{(x^2 + y^2 + 1)} dx dy, \Phi_3 = \iint_D \frac{V(x, y)}{(x^2 + y^2 + 1)} dx dy,$$

где $V(x, y)$ -функция яркости изображения; D -поле зрения.

Для простейших проективных преобразований типа перспективы $x \rightarrow \frac{x}{1 - hy}, y \rightarrow \frac{y}{1 - hy}$ получены подходящие нелинейные функционалы типа отношения моментов. Однако ядра моментов содержат отрицательные степени координат x, y , что ограничивает область анализа изображений полуплоскостями или даже отдельными квадрантами. Учитывая ограниченные возможности методов сечений и конкомитантов, универсальные и практически пригодные методы нормализации проективных преобразований следует искать на пути применения частичных операторов. Можно показать, что любое проективное преобразование можно разложить на аффинные и простейшие проективные, например, $x \rightarrow \frac{x}{y}, y \rightarrow \frac{1}{y}$, или преобразование перспективы. Это дает возможность применить суперпозицию частичных нормализаторов. Однако условия синтеза нормализаторов требуют поиска таких, которые обладают свойствами перестановочности и устойчивости [3]. Дополнительные вопросы вносят многочисленные условия и ограничения на коэффициенты проективных преобразований, возникающие в реальных условиях.

Несмотря на приведенные трудности, нет принципиальных ограничений на построение нормализаторов проективных преобразований, которые лежат в основе монокулярного восприятия окружающего мира органом зрения человека. В будущем эта задача будет решена, что станет этапным моментом в решении проблемы распознавания изображений.

4. Заключение

Процесс распознавания изображений является сложной многоэтапной процедурой. Многоэтапность (иерархичность) обусловлена тем, что различные задачи обработки на самом деле тесно связаны и качество решения одной из них влияет на выбор метода решения остальных. Так, выбор метода распознавания зависит от конкретных условий предъявления входных изображений, в том числе характера фона, других изображений, помеховой обстановки и связан с выбором методов предобработки, сегментации, фильтрации.

Однако для типичных ситуаций на основе проведенного в статье анализа можно предложить универсальную иерархическую структуру распознавания. На первом этапе применяются наименее трудоемкие признаковые алгоритмы для решения задачи о неэквивалентности входных изображений и эталонов. Входное множество изображений при этом существенно сокращается. На втором этапе оставшиеся изображения подвергаются нормализации. На третьем - нормализованные изображения классифицируются одним из конструктивных способов, например корреляционным. При такой структуре распознавания время решения задач сокращается в сотни раз.

Список литературы: 1. Handbook of pattern recognition and computer vision / Chen C.H., Rau L.F. and Wang P.S.P.(eds.). Singapore-New Jersey-London-Hong Kong: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1995. 984 p. 2. *Shalkoff R.J.* Digital image processing and computer vision. New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore: John Wiley & Sons, Inc., 1989. 489 p. 3. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. М: Машиностроение, 1990. 320 с. 4. *Гиренко А.В., Ляшенко В.В., Машталир В.П., Путятин Е.П.* Методы корреляционного обнаружения объектов. Х.: Бизнес-информ, 1996. 112 с.

Поступила в редколлегию 01.12.98

М.Ф. БОНДАРЕНКО, В.И. РУБЛИНЕЦКИЙ, В.А. ЧИКИНА
О ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ МАШИННОЙ ЛИНГВИСТИКИ,
РЕШАЕМЫХ ПОДСЧЕТОМ ЧАСТОТ СЛОВ И ВЫРАЖЕНИЙ

Изложим, как вычисляются частоты слов и словосочетаний в текстах на естественных языках, и перечислим несколько полезных прикладных задач, где используются указанные частоты.

Благодаря бурному прогрессу в компьютеристике, резко возросли возможности решения задач машинной лингвистики. Например, в 1977 г. вышел первый миллионник – частотный словарь русского языка [1] под редакцией Л.Н.Засориной, в котором был обработан миллион словоупотреблений. В составлении словаря участвовали студенты, аспиранты и сотрудники кафедр математической лингвистики и русского языка филологического факультета ЛГУ (всего около 100 человек) и Лаборатории семиотики Научно-исследовательского института прикладной математики при Горьковском государственном университете (всего около 20 человек). Работа продолжалась несколько лет. Сейчас, благодаря наличию быстродействующих компьютеров, сканнеров и литературы в электронной форме, автор книги [2] за один день составил частотный словарь употребимых в устной английской речи словоформ на 6 миллионов словоупотреблений. Учитывая написание нужных программ и постредакцию, это заняло около 10 дней. Нетрудно видеть, что производительность труда в этом виде деятельности возросла примерно на четыре порядка.

Для машинного подсчета частот слов в ЕЯ-тексте используется следующий

Алгоритм 1:

1. Рассмотреть очередную словоформу w .
2. По словоформе отыскать породившее ее слово W , $w \in W$.
3. Продолжить построение рабочего накопительного словаря: если слово W уже имеется в словаре D , то ранее подсчитанное число $n(W)$ употреблений слова W увеличится на 1, иначе новое слово W занести в словарь D с $n(W)=1$. Перейти к п.1.

Пункты 1 и 3 легко выполняются компьютером, но п.2 без учета широкого контекста бывает труден и для человека. Предлагаем определить, сколько значений у предложения

Пришли пять копий

(1)

Ответ – четыре, так как *пришли* ∈ ПРИХОДИТЬ (быть доставленным) или *пришли* ∈ ПРИСЫЛАТЬ, а *копий* ∈ КОПИЯ или *копий* ∈ КОПЬЕ. Никакой контекст не позволяет однозначно воспроизвести канонические формы в предложении

Светило светило, а может, темнело:

(2)

Машинные программы подсчета частот слов существуют, хотя список полученных (восстановленных из словоформ) слов требует легкой постредакции. К решению этой задачи имеется два подхода.

Первый [3,4] требует перечень всех парадигм словоизменения исследуемого БЯ и словарь, в котором желательно иметь метки, отделяющие окончание от основы (это устраняет поливариантность отсечения окончания и предотвращает отсечение похожих на окончания концов неизменяемых слов). Каждое слово в словаре сопровождается этой меткой и номером парадигмы. Имея такие данные, нетрудно произвести морфологический анализ словоформы и определить ее каноническую форму.

Другой подход применяется, когда нет нужного словаря или когда наиболее интересные слова исследуемого текста отсутствуют в имеющемся словаре. Такая ситуация возникает, например, при определении глоссария специальных профессиональных словарей, так как в специальных текстах имеется много новорожденных терминов, еще не вошедших в общие словари. Тогда применяется следующий [5]

Алгоритм 2:

1. Ввести все окончания, упорядочив их (по возможности поставить в начало порядка окончания канонических форм).
2. Рассмотреть очередную словоформу w . Найти в рабочем накопительном словаре D идентичную словоформу w и увеличить на 1 число ее употреблений $n(w)$. Если словоформы w в D не нашлось, найти словоформу w' , такую что после общего непустого начала w и w' разные концы словоформ e и e' входят в список окончаний. Если e «младше» e' (т.е. стоит раньше в упорядоченном списке окончаний), то w' удаляется из D , а w вносится в D с $n(w) := n(w') + 1$; иначе w' остается в D с $n(w') := n(w') + 1$.
3. Перейти к п.2.

Пример. Если при обработке русского текста список окончаний будет упорядочен так: 'ить', '<...<'Ø'<...<'а'<... , то все формы слова *ДОМ*,

в частности, *дома* сбросятся в словоформу *дом*, все словоформы слова *КРЫША*, в частности, *крыша* сбросятся в словоформу *крыш*, а все словоформы слова *КРУШИТЬ*, в частности, деепричастие *круша* сбросятся в словоформу *крушить*.

Таким образом, алгоритм 2 правильно подсчитывает частоты слов, но они не всегда выражаются канонической формой, так что итоговый частотный словарь нуждается в человеческой постредакции.

Вообще программы подсчета частот слов в ЕЯ не слишком формализованы, их нужно приспособлять к конкретному языку, например, в английском нужно учитывать морфологические формы, отличающиеся не окончаниями, в русском – отбрасывать постфиксы и т.п. Всегда нужна человеческая постредакция в большей или меньшей степени, в зависимости от качества программы. Разумеется, словоформы, такие как в примерах (1) и (2), когда неясно, к какой парадигме они принадлежат, могут привести к ошибкам. Для морфологического анализа в русском языке в таких случаях необходим словарь омонимов второго рода.

Что касается подсчета нужных словосочетаний (идиом, сложных терминов и т.п.), то он проще, чем кажется на первый взгляд. Для определения частоты словосочетания в тексте T применяется алгоритм 3. Прежде, чем описывать этот алгоритм, введем еще несколько обозначений:

M - предельная длина словосочетания;

m - текущая длина словосочетания;

n - общее число слов в тексте T ;

h - порог частоты: если частота словосочетания превышает порог, то словосочетание запоминается.

Алгоритм 3:

0. $m:=1$.

1. $m:=m+1$.

2. Во внешнем цикле по k проходит текст T . При длине словосочетания в m слов просматриваются словосочетания вида $V_k = (W_k, W_{k+1}, \dots, W_{k+m-1})$.

3. $d:=0$; $\{d$ – число повторений словосочетания). Во внутреннем цикле по i до конца текста T выбирается словосочетание $U_i = (W_i, W_{i+1}, \dots, W_{i+m-1})$. Если $V_k = U_i$, то $d(V_k):=d(V_k)+1$. Конец цикла по i .

4. Если $d(V_k) > h$, то запомнить V_k .

5. Конец цикла по k .

6. Если $m < M$, то перейти к п. 1.

Теперь опишем некоторые полезные прикладные задачи, где существенно используется подсчет частот слов и словосочетаний.

1. **СОСТАВЛЕНИЕ СПИСКА КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ.** Составление списка ключевых слов и выражений, характеризующих данную тему, производится применением программ, основанных на описанных выше алгоритмах, к текстам на данную тему. При этом возникает одна трудность – нужно отстроиться от слов-антипризнаков, т.е. слов, которые с большой частотой встречаются в текстах на любую тему (предлоги, союзы, местоимения, артикли и т.п.). Удачный список антипризнаков для русского языка приводится в [5], для английского - в [2]. Обычно результат работы программы нуждается в человеческой постредакции, так как при анализе не очень большого объема текстов в машинном списке находятся явно нарушающие полноту купюры: например, перечисляются все дни недели, кроме вторника.
2. **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕКСТОВ ПО ТЕМАМ.** Эта задача нужна для многих практических приложений. При числе тем m составляется соответственное число списков V_1, V_2, \dots, V_m ключевых слов, затем рассматриваемый текст относится к той теме, с чьим словарем V имеется наибольшее пересечение. Возможны и более тонкие решающие правила [6].
3. **ПОИСК ЛИТЕРАТУРЫ НА ЗАДАННУЮ ТЕМУ.** Автоматически, как в п.1, или вручную создается словарь на как угодно узкую и причудливую заданную тему, затем для утверждения или отказа ищущего выводятся на экран фрагменты текстов, особенно богатые ключевыми словами (если концентрация их превысила заданный порог) [7].
4. **СОСТАВЛЕНИЕ ГЛОССАРИЕВ СПЕЦИАЛЬНЫХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СЛОВАРЕЙ.** Многие такие словари поражают тем, что в них пропущены популярные термины, но зато вставлены общезыковые слова. Первых не хватает, так как глоссарии составляются вручную, а человеческий мозг не в состоянии вспомнить все нужное; лишние же слова ставят от смущения, что нужных оказалось слишком мало. Разумеется, в наше время специальные словари должны составляться машинами и включать те слова и их комбинации, которых много в специальных текстах. Здесь снова появляется трудность отстройки от слов-антипризнаков (и их комбинаций, разумеется). Только на этот раз антипризнаки - это обще-

употребительные слова, часто встречающиеся во всех специальных текстах (например, *итак, играть роль* и т.п.) [5].

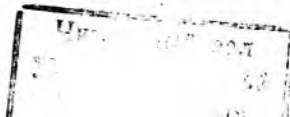
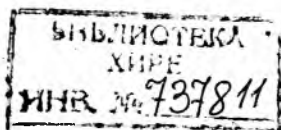
5. ОЦЕНКА УЧЕБНЫХ ПОСОБИЙ ПО ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ. Это оригинальное приложение придумал А.И.Прокопенко [2]. Среди многих формальных критериев, с помощью которых он оценивал пособия, была повторяемость слов. В частности, оказалось, что стандартные школьные учебники английского языка для двух старших классов средней школы половину слов содержат *по одному разу* (!).
6. ОЦЕНКА МЕНТАЛИТЕТА НАРОДА ЧЕРЕЗ ЯЗЫК. Очевидно, что менталитет, темперамент, экономический уклад и многие другие характеристики народа и его жизни отражаются в языке. Например, в эскимосском языке имеется свыше восьмидесяти слов для обозначения разновидностей снега, а у охотников гольцов имеются короткие слова типа *двести-метров-дальше-и-на-тридцать-градусов-левее*. Известно, например, что англичане – люди сухие, а русские – эмоциональные. А.Вержибicka [8] подсчитала, что эмоционально-оценочных слов (как положительных, так и отрицательных) в русском языке гораздо больше, чем в английском. Так, характеризующие красоту слова *good-looking* и *beautiful* встречаются в английских текстах в 2,5 раза реже, чем в русских сопоставимых текстах, слово *noble* встречается в 2,4 раза реже, чем русское *благородный*, а слово *scoundrel* – в 15 раз реже, чем *подлец*. Вообще эта тема является нетронутой целиной.
7. АТРИБУЦИЯ ТЕКСТОВ [9]. Это – важная общекультурная и криминологическая задача. Раньше признаки, различающие авторов, разыскивали по одному, так сказать, ловили на крючок: устанавливали, что двух авторов хорошо различает употребление слов *нежели* и *чем*. Компьютер может ловить признаки неводом: сперва устанавливать частоты употребления авторами тысяч слов и выражений, а потом отбирать те из них, которые обладают наибольшей различительной силой.

Если подсчитывать частоту не идентичных слов, а эквивалентных по какому-либо другому признаку (смыслу, например), то возникает огромное поле полезных прикладных задач, на которых мы не будем останавливаться в данном обзоре.

Список литературы: 1. Частотный словарь русского языка/Под. ред. Л.Н. Засориной. М.: Русский язык. 1977. 936с. 2. Прокопенко А.И. Количественные методы оценки учебников английского языка. Х.: Бизнес-информ.. 1997. 126с. 3. Крупко Н.А., Цейтин Г.С. Разработка языкового процессора для системы управления/ В кн.: Взаимодействие с ЭВМ на естест-

венном языке. Новосибирск. 1978. С.147 - 156. 4. *Белоногов Г.Г.* с соавт. Алгоритм многоступенчатого морфологического анализа русских слов. МНТИ. Сер.2. 1983. N 1. С.6 - 10. 5. *Лаптева М.В. Вайнер В.Г.* Метод автоматизированного составления глоссария. Экономико-экологическое моделирование. Учеб. пособие / Под ред. В.Г.Вайнера. Х.: Бизнес-информ. 1997. С.334-346. 6. *Бондарев В.М., Рублинецкий В.И., Сигалов В.Л.* Программа автоматической классификации текстов//Пробл. бионики. 1989. Вып.42. С.35-40. 7. *Лаптева М.В.* Програмна система пошуку потрібної інформації// Комп'ютерознавство. Україно-російсько-англійський навчальний тлумачний словник/ Під ред. В.Г.Вайнера, М.Г.Гінзбурга.. Х.: Бизнес-информ. 1997. С.270-282. 8. *Вержбицка А.* Русский язык / В кн.: Язык, культура, познание. М.:Русские словари. 1997. 411 с. 9. *Ермоленко Г.В.* Анонимные произведения и их авторы. Минск: изд-во Минск. ун-та. 1988. 118 с.

Поступила в редколлегияу 15.02.99



УДК 658.512

О.Г. БАЙГОЗИНА, Е.В. БЕЛЕЦКИЙ, М.Ф. БОНДАРЕНКО, З.В. ДУДАРЬ

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОНТЕКСТНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ

Рассмотрим структуру распределенной системы баз данных, поддерживающей контекстный обмен данными, который является наиболее эффективным при создании семантического соединения в крупномасштабных и динамических системах баз данных [1].

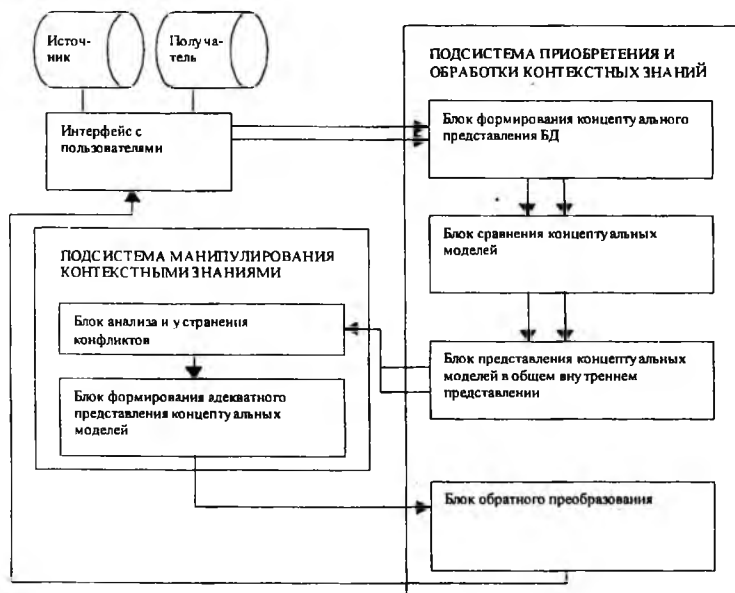


Рис. 1. Структура системы контекстного обмена данными

Структура такой системы представлена на рис. 1. В ней выделено 3 подсистемы:

- 1) приобретения и обработки контекстных знаний;
- 2) манипулирования контекстными знаниями;
- 3) средства общения с пользователями.

Первая подсистема предназначена для формирования контекстной модели базы данных при подключении этой базы в систему. Вторая подсистема предназначена для определения последовательности преобразований контекстных моделей баз данных и преобразования концептуальных моделей к общему представлению.

Контекстная модель базы данных – это описание понятийной надстройки над базой данных, базирующееся на принятой в системе модели представления знаний.

Для описания баз данных выделяют два уровня:

- экстенциональное представление, содержащее конкретные факты, которые касаются предметной области;
- интенциональное представление, фиксирующее закономерности и связи между объектами (концептами) предметной области.

Экстенциональное представление относят непосредственно к данным, т.е. к их физической интерпретации (типы данных, объемы памяти, индексация и т. п.), а интенциональное соотносят со схемами базы данных. При интеграции баз данных возникают конфликты как на экстенциональном, так и на интенциональном уровнях. Природа появления конфликтов на обоих уровнях одна и та же: при интерпретации значений базы данных используется часть семантики, не отраженная в явном виде ни в одном из представлений. Конфликты, возникающие на экстенциональном уровне описания баз данных, относятся к схематической гетерогенности [2], а конкретно – это конфликты имен и структур. На интенциональном уровне описания возникают все виды семантических конфликтов.

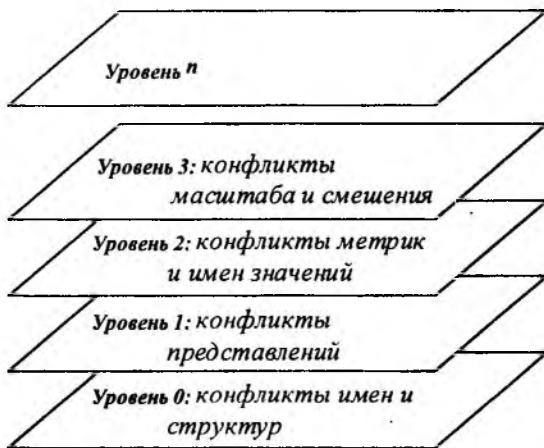


Рис. 2. Многоуровневая структура конфликтов

При детальном рассмотрении конфликтов можно заметить, что одни типы конфликтов проявляются лишь после устранения других. Так, конфликты представления (различные реализации одного и того же концепта) проявляются лишь после устранения синонимии и омонимии базовых концептов, т.е. после решения конфликтов имен и структур; конфликты метрик (использование от-

личных систем измерений) и имен значений (смысловые синонимы и омонимы) – после устранения конфликтов представления; а конфликты масштаба понятий (интерпретация понятий с одинаковым физическим и синтаксическим представлением на разных уровнях абстракции) и конфликты смешения понятий (различные смыслы сосредоточены в одном концепте) – после конфликтов метрик и имен значений. Сгруппировав однотипные конфликты и расставив приоритеты их разрешения, получаем многоуровневую структуру конфликтов (рис. 2), каждый уровень которой отражает влияние все более специфических контекстов.

Исходя из того, что структура конфликтов является многоуровневой, можно предположить, что структура модели представления знаний также должна иметь многоуровневую структуру для эффективного разрешения семантических конфликтов интеграции. Таким образом, следует увеличить число уровней представления знаний (по сравнению с двумя – экстенциональным и интенциональным). При этом существующее экстенциональное представление следует рассматривать как его базовый уровень (наиболее полно описывающий закономерности предметной области), а интенциональное – как первый уровень контекста, так как одна и та же концептуальная модель может иметь несколько реализаций. Таким образом, конфликты имен и структур (схематическая гетерогенность) рассматриваются на базовом уровне, конфликты представлений – на первом уровне контекста, конфликты метрик и имен значений – на втором и т.д.

В качестве формализма для представления знаний о предметной области и ее контекста может быть использована многоуровневая семантическая сеть (мета-семантическая сеть) [3].

Рассмотрим структуру многоуровневой контекстной модели базы данных. Базовый уровень есть описание основных объектов предметной области, их свойств и связей. На этом уровне происходит разрешение конфликтов имен и структур. Каждый следующий уровень контекстных знаний представляет собой описание наиболее значимых, контекстно-зависимых свойств и отношений между концептами предыдущего уровня. В силу непостоянства полноты знания число контекстных уровней неограниченно, и каждый последующий уровень дает все более специфическое описание предметной области. Для реализации практических задач число уровней модели следует выбирать исходя из того, к какому классу (а значит и уровню) относятся конфликты, подлежащие разрешению.

Например, для задачи интеграции бухгалтерских реестров (рис.3) необходимо решение конфликтов представлений, метрик и имен значений. Так как последние из перечисленных конфликтов относятся ко второму уровню структуры конфликтов, то следует использовать трехуровневую (второго порядка) контекстную модель.

Таким образом, суть формирования контекстной модели базы данных состоит в том, чтобы, во-первых, построить необходимое число уровней контекста для новой базы (процесс контекстуализации), во-вторых - связать между собой семантически эквивалентные концепты в новой и ранее

интегрированных баз (в рамках метасемантической модели знаний - установление SAME-отношений) [3].

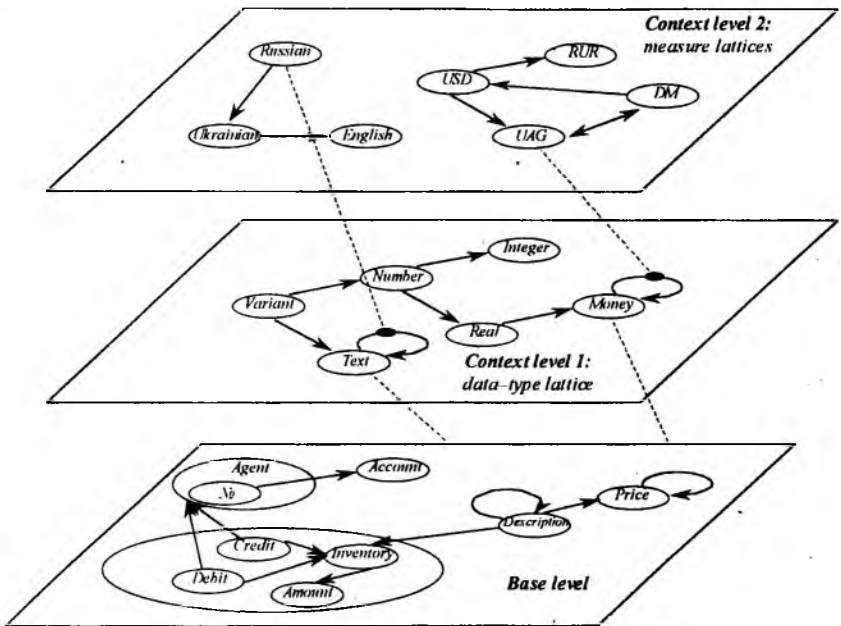


Рис. 3. Пример контекстной модели базы данных для задачи интеграции бухгалтерских реестров

Вернемся к структуре системы контекстного обмена. Исходными данными для подсистемы приобретения и обработки контекстных знаний является физическая модель базы данных, поступающая на блок формирования концептуального представления баз данных, на выходе которого формируется их концептуальная модель.

Блок сравнения концептуальных моделей предназначен для определения качества данных интегрируемой базы данных [4] и наличия конфликтов на базовом уровне представления этой базы.

Блок представления концептуальных моделей в общем внутреннем представлении предназначен для преобразования концептуальной модели базы данных во внутреннее представление системы, которое зависит от модели знаний, лежащей в основе системы.

Блок анализа и устранения конфликтов предназначен для построения многоуровневой контекстной модели базы данных на основе конфликтов, возникающих на различных уровнях представления базы данных.

Блок формирования адекватного представления концептуальных моделей предназначен для определения последовательности операций, необходимых для преобразования контекста интегрируемой базы данных.

Блок обратного преобразования предназначен для преобразования контекста интегрируемой базы данных к контексту системы баз данных, к которой происходит подключение. Если интегрируются две базы данных, то базовым выбирается контекст базы данных с более высоким показателем их качества.

Определение последовательностей преобразований на каждом из уровней контекста и собственно его преобразование происходит на втором этапе интеграции базы данных. Время выполнения этого этапа откладывается до поступления конкретного запроса, т. е. до момента непосредственной передачи данных. В связи с этим возникает ряд задач, таких как контекстуализация запросов, оптимизация полученных последовательностей преобразований и т. п.

Определение последовательности преобразований между значениями двух баз сводится к решению задачи поиска семантики отношения между двумя соответствующими концептами после установления *SAME*-отношений между двумя этими базами. Рассмотрим пример (рис. 4). Необходимо определить последовательность преобразований для передачи значений поля цены «Price» и описания «Description» из первой базы во вторую.

Вычислим семантику отношений на каждом из уровней контекста для полей цены:

$$\text{base level: } L_{\text{Price1-Price2}} = \text{SAME};$$

$$\text{first level: } L_{\text{Money1-Real2}} =$$

$$= \bar{L}_3' * \text{SAME} + \bar{L}_3' * \bar{L}_1' * \text{SAME} * L_1' + \bar{L}_3' * \bar{L}_1' * L_2' * \text{SAME} * \bar{L}_2' * L_1' =$$

$$= \bar{L}_3' + \bar{L}_3' * \bar{L}_1' * L_1' + \bar{L}_3' * \bar{L}_1' * L_2' * \bar{L}_2' * L_1' =$$

$$= \bar{L}_3' + \bar{L}_3' * \text{SAME} + \bar{L}_3' * \bar{L}_1' * \text{SAME} * L_1' = \bar{L}_3' + \bar{L}_3' + \bar{L}_3' * \bar{L}_1' * L_1' =$$

$$= \bar{L}_3' + \bar{L}_3' * \bar{L}_1' * L_1' = \bar{L}_3' + \bar{L}_3' * \text{SAME} = \bar{L}_3' + \bar{L}_3' = \bar{L}_3';$$

$$\text{second level: } L_{\text{RURI-UAGI2}} =$$

$$= \bar{L}_1'' * \text{SAME} * \bar{L}_4'' * \bar{L}_5'' + \bar{L}_1'' * L_2'' * \text{SAME}_1 =$$

$$= \bar{L}_1'' * \bar{L}_4'' * \bar{L}_5'' + \bar{L}_1'' * L_2''.$$

Имеем решение в виде $L_{\text{Price1-Price2}} = \text{SAME} \left(\bar{L}_3' \right)^{\left(\bar{L}_1' * \bar{L}_4' * \bar{L}_5' + \bar{L}_1' * L_2' \right)}$.

Аналогично определяем отношение между полями описаний:

$$\text{base level: } L_{\text{Description1-Description2}} = \text{SAME};$$

first level: $L_{Text1-Text2}$

$$\begin{aligned}
 &= SAME + \tilde{L}_2^* SAME * L_2^* + \tilde{L}_2^* L_1^* SAME * \tilde{L}_1^* L_2^* = \\
 &= \tilde{L}_2^* L_2^* + \tilde{L}_2^* L_1^* \tilde{L}_1^* L_2^* = SAME + \tilde{L}_2^* SAME * L_2^* = \\
 &= \tilde{L}_2^* L_2^* = SAME;
 \end{aligned}$$

second level: $L_{RUR1-UAG12} = SAME * \tilde{L}_6^* = \tilde{L}_6^*$.

Имеем решение в виде $L_{Description1-Description2} = SAME^{(SAME)^{\tilde{L}_3}}$.

При трактовке полученных решений как последовательностей преобразований знак умножения (*) указывает на непосредственное следование вызовов методов, знак сложения (+) - на альтернативность цепочек преобразований, а константа SAME - на отсутствие каких-либо преобразований на каждом контекстном уровне. Выполнение преобразований следует производить, начиная с наивысшего уровня контекста и заканчивая базовым. В рассмотренном примере для полей цены ($L_{Price1-Price2}$) вначале выполняется преобразование типа валюты (причем одним из двух возможных вариантов, что определяется при решении задачи оптимизации), а затем однозначное преобразование типа представления числа (на базовом уровне отсутствуют какие-либо преобразования). Для полей описаний необходим лишь перевод с украинского языка на русский и никаких иных преобразований на других уровнях.

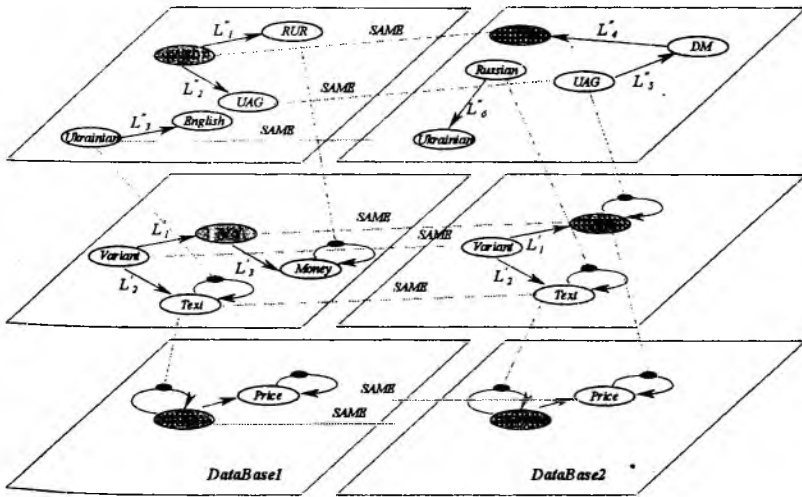


Рис. 4. Пример интеграции баз данных

Таким образом, предложен метод решения проблемы приобретения и обработки контекстных знаний, основанный на предположении о многоуровневой структуре конфликтов, возникающих при интеграции разнородных баз данных. В рамках этого подхода предложена контекстная модель базы данных, а также структура системы контекстного обмена данными, основанной на многоуровневой контекстной модели знаний.

Список литературы: 1. Дударь З.В., Белецкий Е.В., Логвиновский А.А. Структура контекстного обмена // АСУ и приборы автоматики. 1997. Вып.104. С. 117-122. 2. Дударь З.В., Белецкий Е.В., Калиновский А.С., Мокрый Е.В. Стратегии разрешения проблем взаимодействующих систем баз данных // АСУ и приборы автоматики. 1997. Вып.105. С. 97-100 3. Бондаренко М.Ф., Гребенюк В.О., Кайкова О.Б., Терзьян В.Я. Теорія багаторівневих семантичних сіток: Навч. посібник. Х.: ХТУРЕ, 1997. 100с. 4. Бондаренко М.Ф., Дударь З.В., Белецкий Е.В. О методе определения качества данных в системах, поддерживающих контекстную обработку информации // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Х.: ХГПУ, 1998. С. 183-185.

Поступила в редколлегию 15.02.99

соответственно. Этот оператор единственен, откуда вытекает взаимнооднозначность соответствия линейного логического оператора A и отвечающей ему матрицы A . Следовательно, линейный логический оператор $A: L \rightarrow D$ однозначно определяется совокупностью образов какого-либо базиса совершенного пространства L .

Рассмотрим следующий пример. В качестве поля логических скаляров возьмем множество одноместных предикатов $P_i(x)$, определенных на множестве $\{0,1\}$, $i=0, 1, 2, 3$ [3] (табл. 1).

Таблица 1

x	P_0	P_1	P_2	P_3
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

В качестве пространства логических векторов возьмем множество двухместных предикатов $Q_j(x, y)$, $j=0, \dots, 15$ (табл. 2).

Таблица 2

x	y	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}	Q_{11}	Q_{12}	Q_{13}	Q_{14}	Q_{15}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Одноместные предикаты представим в виде строк $P_i(x)=(P_i(0), P_i(1))$, а двухместные - в виде матриц:

$$Q_j = \begin{pmatrix} Q_j(0,0) & Q_j(1,0) \\ Q_j(0,1) & Q_j(1,1) \end{pmatrix}.$$

Для выбранного пространства базисом является набор Q_6, Q_9 . Рассмотрим оператор A , который преобразует базисные векторы по правилу:

$$AQ_6 = P_2Q_6 \vee P_1Q_9 = (1, 0) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \vee (0, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = Q_5,$$

$$AQ_9 = P_1Q_6 \vee P_2Q_9 = (0, 1) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \vee (1, 0) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} = Q_{10}.$$

Тогда матрица

$$A = \begin{pmatrix} P_2 & P_1 \\ P_1 & P_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1, 0) & (0, 1) \\ (0, 1) & (1, 0) \end{pmatrix}$$

является матрицей оператора A в базисе Q_6, Q_9 .

Теперь рассмотрим случай, когда пространство образов D и пространство прообразов L являются булевыми [5] и имеют разную размерность. Пусть $n=4, m=3$. Возьмем в пространстве D образы векторов a_1, a_2, a_3, a_4 и запишем их разложение по базису d_1, d_2, d_3 пространства D , например, в виде

$$Aa_1 = 0 \cdot d_1 \vee 1 \cdot d_2 \vee 0 \cdot d_3;$$

$$Aa_2 = 0 \cdot d_1 \vee 0 \cdot d_2 \vee 1 \cdot d_3;$$

$$Aa_3 = 1 \cdot d_1 \vee 0 \cdot d_2 \vee 1 \cdot d_3;$$

$$Aa_4 = 1 \cdot d_1 \vee 1 \cdot d_2 \vee 0 \cdot d_3.$$

В этом случае для матрицы оператора A имеем:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Если O - нулевой оператор, то

$$Oa_1 = 0 \cdot d_1 \vee \dots \vee 0 \cdot d_m,$$

.....

$$Oa_n = 0 \cdot d_1 \vee \dots \vee 0 \cdot d_m,$$

откуда видно, что нулевой оператор имеет нулевую матрицу. Из определения единичного оператора следует, что

$$Ea_1 = 1 \cdot a_1 \vee \dots \vee 0 \cdot a_n,$$

.....

$$Ea_n = 0 \cdot a_1 \vee \dots \vee 1 \cdot a_n.$$

Следовательно, единичному оператору соответствует единичная матрица. В рассмотренном выше случае пространства двухместных предикатов роль единицы играет предикат P_3 [3] и поэтому единичная матрица имеет вид

$$E = \begin{pmatrix} P_3 & P_0 \\ P_0 & P_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1, 1) & (0, 0) \\ (0, 0) & (1, 1) \end{pmatrix}.$$

Нулевому оператору O в выбранном пространстве будет соответствовать матрица

$$O = \begin{pmatrix} P_0 & P_0 \\ P_0 & P_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (0, 0) & (0, 0) \\ (0, 0) & (0, 0) \end{pmatrix},$$

при помощи которой любой вектор логического пространства L переводится в нулевой.

Пусть в выбранном базисе a_1, a_2, \dots, a_n вектор $l \in L$ имеет координаты ξ_1, \dots, ξ_n , а элементами матрицы A , соответствующей линейному логическому оператору A , являются логические скаляры α_{ji} ($i=1 \dots n, j=1 \dots m$). Тогда можно записать следующие равенства:

$$l = \xi_1 a_1 \vee \dots \vee \xi_n a_n,$$

$$Al = \xi_1 (Aa_1) \vee \dots \vee \xi_n (Aa_n). \quad (1)$$

Пусть b_1, \dots, b_m - базис пространства D . Тогда имеем

$$Aa_i = \alpha_{i1} b_1 \vee \dots \vee \alpha_{im} b_m, \quad (i=1 \dots n). \quad (2)$$

Подставляя равенства (2) в выражение (1), получаем

$$Al = (\xi_1 \alpha_{11} \vee \dots \vee \xi_n \alpha_{1n}) b_1 \vee \dots \vee (\xi_1 \alpha_{m1} \vee \dots \vee \xi_n \alpha_{mn}) b_m. \quad (3)$$

Из равенства (3) следует, что координатный столбец вектора Al будет иметь следующий вид:

$$[Al] = (\xi_1 \alpha_{11} \vee \dots \vee \xi_n \alpha_{1n}, \dots, \xi_1 \alpha_{m1} \vee \dots \vee \xi_n \alpha_{mn})^T = A[l],$$

где $A[l]$ представляет собой произведение логической матрицы A на координатный столбец вектора l , т.е.

$$[Al] = A[l].$$

Для булевых пространств этот результат можно сформулировать как теорему об общем виде линейного логического оператора.

Теорема. *Любой линейный логический оператор $A: L \rightarrow D$ можно представить в виде*

$$[Al]_j = \exists i \in I \alpha_{ji} \xi_i, \quad I = \{1, \dots, n\}, \quad J = \{1, \dots, m\}, \quad j \in J,$$

где $[l] = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)^T$ - произвольный вектор пространства L ; $[Al]_j$ - j -я координата вектора Al в базисе пространства D .

Рассмотрим вектор Q_{14} , который в базисе Q_6, Q_9 имеет вид

$$Q_{14} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = (1, 1) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \vee (1, 0) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = P_3 Q_6 \vee P_2 Q_9.$$

Найдем образ этого вектора при применении к нему указанного выше оператора A :

$$[AQ_{14}] = A[Q_{14}] = \begin{pmatrix} (1,0) & (0,1) \\ (0,1) & (1,0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (1,1) \\ (1,0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1,0) \\ (1,1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_2 \\ P_3 \end{pmatrix},$$

$$AQ_{14} = P_2 Q_6 \vee P_3 Q_9 = (1, 0) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \vee (1, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = Q_{13}.$$

Рассмотрим неединичный линейный логический оператор $A: L \rightarrow L$. Если существует такой вектор $l \in L$, что $Al=l$, то этот вектор назовем неподвижным вектором для оператора A . Например, в рассмотренном пространстве двухместных предикатов для построенного оператора A неподвижным является вектор Q_7 :

$$Q_7 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} = (1, 1) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \vee (0, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = P_3 Q_6 \vee P_1 Q_9,$$

т.е. $[Q_7] = \begin{pmatrix} P_3 \\ P_1 \end{pmatrix}$;

$$[AQ_7] = \begin{pmatrix} P_2 & P_1 \\ P_1 & P_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_3 \\ P_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1,0) & (0,1) \\ (0,1) & (1,0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (1,1) \\ (0,1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_3 \\ P_1 \end{pmatrix} = [Q_7].$$

Список литературы: 1. Мальцев А.И. Основы линейной алгебры. М.: Наука, 1975. 400с. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Неполные и полные логические пространства // Пробл. бионики. 1991. Вып. 46. С. 10-17. 3. Гвоздинская Н.А., Дударь З.В., Пославский С.А., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. О логических пространствах // АСУ и приборы автоматики. 1997. Вып. 106. С. 21-30. 4. Гвоздинская Н.А. О логических операторах // Пробл. бионики. 1998. Вып. 49. С. 90-94. 5. Поваров Г.Н. О групповой инвариантности булевых функций // Применение логики в науке и технике. М.: Наука, 1960. С.263-340.

Поступила в редколлегию 09.09.98

Д.О. КОЛЕСНИКОВ, Ю.П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО
О ПРИРОДЕ СУБЪЕКТИВНЫХ СОСТОЯНИЙ

В работе [1] на конкретном примере исследования цветовых ощущений был продемонстрирован относительный характер физических знаний о субъективных состояниях испытуемого. В процессе углубления наших знаний о цветовом ощущении в нем открываются все новые и новые свойства. Вместе с тем, сама природа цвета, а именно - его способность быть синим, желтым и т.п. (и в этом качестве непосредственно переживаться испытуемым) всегда остается за пределами физической характеристики цвета. Мы чувствуем цвет таким, каков он есть на самом деле, мы не сомневаемся в том, что цвет, взятый сам по себе (как «вещь в себе»), именно таков, каким он является перед нашим сознанием. И оказывается, что эта непосредственно воспринимаемая нами сущность цвета (например, его синева) не выражается в объективно наблюдаемых его свойствах.

В связи со сказанным напрашивается еще одна аналогия теории интеллекта с физикой. Широко известен афоризм: «Материя исчезла, остались одни уравнения». Здесь имеется в виду, что любая физическая теория описывает лишь свойства предметов, но не их субстанцию, природу, не сами предметы как «вещи в себе». Исследователь интеллекта тоже может с полным основанием сказать: «Ощущение исчезло, остались одни уравнения». Ощущение как «вещь в себе», как субъективное состояние испытуемого, реально им переживаемое, не извлекается из объективно наблюдаемого поведения испытуемого. Физик имеет доступ лишь к свойствам ощущений, которые он выражает в виде уравнений. Само же ощущение испытуемого, как его личное переживание, находится вне пределов возможностей физики.

Но вправе ли мы при таком положении дела допускать возможность создания полноценного искусственного разума на базе достижений теории интеллекта? Вопрос этот далеко не праздный, ибо от него зависит сфера практического применения теории интеллекта. Если бы описание природы субъективных состояний человека было возможно, тогда можно надеяться, что искусственное воспроизведение полученных моделей приведет к тому, что техническое устройство будет на самом деле переживать свои состояния в том виде, в каком их переживает человек, отдавая себе отчет о них. Если же это принципиально недостижимо, тогда не исключено, что такое устройство будет лишь чисто внешне имитировать интеллектуальную деятельность человека, оставаясь, по существу, всего лишь бесчувственным, бездушным автоматом.

Человек субъективно переживает каждый цвет (например, синий) как нечто совершенно конкретное, вполне определенное, абсолютное, как бы данное извне, существующее само по себе. Переживаемый цвет - это некая субстанция, она обладает характерным качеством синевы, причем это не имя синевы, а она сама. Эта синева предметна, она переживается принудительно, ее нельзя изменить усилием воли, она не зависит от точки зрения субъекта, от того, чем она сопровождается, с чем сравнивается. Каждый человек неизбежно верит, что другие люди переживают цвета точно такими же, какими переживает их он сам, хотя проверить, так ли это на самом деле, объективными методами он не может. Субъективный цвет (как и все другие психологические состояния человека) очень похож на Кантову «вещь в себе», природа которой тоже недоступна для физического описания.

В противоположность цвету субъективному цвет колориметрический есть всего лишь математическая абстракция, он задается с точностью до обозначений, его конкретное представление зависит от воли исследователя. Колориметрический синий цвет - это только конкретная тройка чисел, он не субстанционален, в нем нет субъективно переживаемого качества синевы. В одной системе обозначений он будет представлен одной тройкой чисел, в другой - совсем иной тройкой. Если бы субъективно переживаемые цвета вдруг поменялись своими качествами (например, синий цвет стал зеленым, зеленый - желтым и т.д.), то физик, изучающий лишь внешние реакции испытуемого, не смог бы заметить этой подмены. Он продолжал бы называть синим тот цвет, который уже изменился на зеленый, характеризуя его тройкой чисел, предназначавшейся ранее для описания синего цвета.

Синева, как органически присущее субъективному цвету качество, не попадает в число характеристик, фигурирующих в колориметрическом цвете, она ускользает от математического описания. Поэтому даже в том случае, когда построенные для двух испытуемых математические модели цветового зрения оказываются совершенно одинаковыми (в колориметрическом варианте для этого требуется совпадение всех трех функций спектральной чувствительности зрения), нет достаточных оснований для вывода, что такие испытуемые реагируют одинаковыми субъективными цветами на идентичные световые излучения. Теоретически не исключено (хотя это кажется невероятным с точки зрения здравого смысла), что существуют люди, реагирующие на световые излучения ощущениями, которые для других людей являются слуховыми или обонятельными, или же такими ощущениями, которые другим людям совершенно неизвестны.

Итак, мы видим, что субъективное качество переживания цвета не улавливается колориметрической моделью цветового зрения человека. Очевидно, что оно не может быть выражено никакой другой, более общей или

более совершенной моделью. Ясно также, что этот вывод в равной мере относится и ко всем другим субъективным состояниям человека. Выходит, что в каждом субъективном состоянии человека есть нечто непознаваемое, причем как раз то, что придает им качество субъективности, что обеспечивает причастность этих состояний к нашему собственному «я».

Не подрывает ли этот вывод ценности теории интеллекта как средства искусственного воспроизведения субъективной стороны человеческого разума? Если мы не в состоянии описать синеву ощущения такой, какой она есть сама по себе, то как же тогда можно надеяться, что удастся изготовить искусственно полноценное ощущение цвета, которое автоматически действующее мыслящее устройство могло бы субъективно переживать? Мы можем ответить на эти вопросы следующим образом. Приходится признать, что субстанция ощущения, которая делает его субъективным переживанием, не может быть описана в научных терминах. Тем не менее, это ограничение не является препятствием для искусственного воспроизведения феномена личного переживания ощущений и вообще - любых субъективных состояний. Попытке обосновать последнее утверждение посвящена оставшаяся часть этой статьи.

Предположим, что по достаточно обширным математическим описаниям теории интеллекта (которые, как мы надеемся, она разработает в будущем) построена полноценная в смысле разумности физических реакций копия испытуемого в виде некоторого действующего технического устройства. Судя по результатам наблюдений за внешними действиями такой копии испытуемого, в ней обитает некий дух, личность, субъект. Последний утверждает, что он переживает различные психологические состояния, в том числе и ощущения цвета с характерными для них качествами синевы, желтизны и т.п. Так ли это на самом деле или нет, внешний наблюдатель проверить не может. Похожи ли ощущения, переживаемые копией испытуемого (если таковые вообще возникают), на ощущения самого испытуемого, никто сказать не в состоянии.

В копии испытуемого можно обследовать то место в механизме ее устройства, в котором разыгрываются образы световых излучений, воспринимаемых ею. Найти это место не составит особого труда, поскольку подразумевается, что копия испытуемого создана людьми, а следовательно, ее устройство и функционирование полностью им известны. Отыскать же точное место возникновения зрительных образов в организме испытуемого было бы делом гораздо более сложным и вряд ли выполнимым при современном уровне знаний об анатомии и физиологии мозга человека. Именно по этой причине мы обращаемся в данном рассуждении не непосредственно к испытуемому, а к его гипотетической искусственно созданной копии.

Зададимся вопросом: какая материальная субстанция служит носителем образа светового излучения, воспроизведенного в копии испытуемого?

Отвечая на него, мы можем сказать, что это, к примеру, - магнитное поле, которое в каждой своей точке характеризуется направлением и плотностью силовых линий и т.п. Но все это - не более чем слова, коды чисел и другие символы. Никакие описания не смогут охарактеризовать носитель образа таким, каков он есть сам по себе, т.е. как «вещь в себе». Если мы перейдем к другим единицам измерения или к иной координатной системе, то получим иное описание того же самого физического объекта. Как видим, свойства физического объекта с успехом описываются, однако сам объект, его природа, субстанция ускользает от описания точно так же, как ранее ускользала от описания природа субъективного ощущения. Получается, что физический объект, как и ощущение, можно описать только с точностью до обозначений.

Таким образом, природа физических процессов как «вещей в себе» и природа соответствующих им субъективных состояний человека, рассматриваемых как существующие сами по себе, сходна в том смысле, что и та и другая не поддается научному описанию. По этой причине мы не знаем, чем же природа объективного и соответствующего ему субъективного отличается, и, весьма вероятно, что знать этого не можем. Никто не сомневается в том, что субъективное и соответствующее ему объективное состояния существуют реально, но сверх этого ничего об их природе сказать не удастся. Вместе с тем, в силу психофизического параллелизма, все физически наблюдаемые свойства субъективных и соответствующих им объективных состояний совпадают. Следовательно, все, что известно (а возможно, и все, что можно узнать) о физических процессах и соответствующих им субъективных состояниях, идентично. Ничто не мешает нам сделать еще один шаг и предположить, что не только свойства, но и природа, субстанция физических и соответствующих им психических состояний совпадают. Такое утверждение недоказуемо и неопровержимо, но оно существенно упрощает картину мира. Основываясь на сказанном, мы считаем возможным сформулировать следующий принцип тождества: *природа физических процессов - носителей субъективных состояний и природа самих субъективных состояний одна и та же.*

Согласно принципу тождества, субъективное и соответствующее ему объективное - это две стороны одной и той же медали (лучше было бы сказать: две стороны одной плоскости), это один и тот же предмет или процесс, рассматриваемый с разных сторон. На самом деле есть только один предмет, но до сих пор предполагалось, что их два. Возьмем, к примеру, субъективное зрительное ощущение, которое разыгрывается в поле зрения. Его можно рассматривать как поле точек, в каждой из которых имеется некий цвет, меняющийся во времени. Этому ощущению в организме человека соответствует (по современным представлениям - в коре затылочных

долей головного мозга) объективное поле физических состояний некоторой природы, меняющееся во времени синхронно со зрительным ощущением. Принцип тождества в данном случае гласит, что в случае равенства цветов в произвольно взятых двух точках поля зрения должны совпадать также и физические состояния в соответствующих точках коры головного мозга. Если же цвета не совпадают, то обязательно должны различаться и соответствующие им физические состояния.

Если принять принцип тождества, то самые темные и трудные (они же и ключевые) проблемы теории интеллекта легко и естественно решаются. Будет ли машина - копия испытуемого, созданная по математическим описаниям теории интеллекта, обладать собственной психикой, субъективно переживать свои внутренние состояния? Да, будет, потому что воспроизведенные в ней физические состояния, играющие роль образов физических процессов, как раз и являются, согласно принципу тождества, такими субъективными переживаниями. Можно ли субъективные состояния человека изучать физическими методами? Да, можно, поскольку, согласно принципу тождества, любое субъективное состояние есть также и состояние физическое. Не будут ли ущербными описания субъективных состояний человека, даваемые теорией интеллекта, из-за того, что природа субъективности психологических состояний ими не улавливается? Нет, не будут, поскольку, согласно принципу тождества, описать природу субъективности переживания - это то же самое, что узнать, каков физический объект сам по себе. Последнего физика достичь не может, но из-за этого никакого ущерба она не терпит.

Мы видим, что принцип тождества играет роль «подпорки» при решении теорией интеллекта важнейших проблем. В связи с этим он заслуживает самого тщательного обсуждения. Прежде всего, возникает вопрос, можно ли принцип тождества обосновать методами физики. Ответ отрицателен: уже хотя бы потому, что в принципе тождества идет речь о физических процессах и субъективных состояниях как о «вещах в себе». И те и другие с этой стороны не представляется возможным наблюдать физически. Нельзя обосновать физическими методами тождество природы субъективных и соответствующих им объективных состояний, поскольку эту природу невозможно воспринять физическими приборами. Однако в этом отрицательном ответе содержится и нечто положительное: если тождество природы субъективного и соответствующего ему объективного физическими методами не может быть доказано, то оно, вместе с тем, не может быть ими и опровергнуто. Поэтому авторы могут не опасаться за судьбу сформулированного ими «принципа тождества», ибо последний неуязвим для критики со стороны физики. Вместе с тем, принцип тождества, как мы только что видели, не является бесполезным утверждением. Видимо, не все важные для физики утверждения могут быть ею доказаны. Некоторые

из них приходится принимать как априорные. Принцип тождества относится к числу именно таких утверждений.

Как же могло случиться, что принцип тождества, будучи, по существу, искусственно придуманным утверждением, не имеющим опоры в опыте, все же помогает решать важные проблемы теории интеллекта? В науке такого рода принципы не являются новостью. Физики их хорошо знают и с пользой применяют в своих исследованиях. Например, таким принципом является так называемая «бритва Оккама». Формулируется он следующим образом: «сущностей не следует умножать без необходимости». Иными словами, если в какой-нибудь науке все можно объяснить без допущения той или иной гипотетической сущности, то и не следует ее вводить. Известный философ, логик и исследователь интеллекта Бертран Рассел пишет: «Я лично убедился в необычайной плодотворности этого принципа» [3, с. 491].

К принципу тождества можно прийти, применяя «бритву Оккама». Есть две сущности: психическое состояние и соответствующее ему физическое состояние. Общепринято, что любое психическое состояние всегда сопровождается соответствующим ему физическим состоянием (так называемый «психофизический параллелизм»). Никем не оспаривается, что носителем каждого психического состояния служит свое особое физическое состояние. Психическое всегда неразлучно с физическим как тень с пешеходом в солнечный день. Принцип тождества утверждает лишь то, что в данном случае нет надобности вводить две разные сущности, достаточно использовать одну из них, поскольку сущности эти невозможно ни различить, ни разделить. История науки знает примеры слияния двух сущностей в одну. Так, в древние времена планету Венера принимали за два разных объекта: Веспер - вечерняя звезда и Люцифер - утренняя звезда. Потребовались длительное время и большие интеллектуальные усилия астрономов, чтобы объединить эти два понятия в одно.

Действенность принципа тождества основана на том, что он устраняет воображаемую пропасть между психическим и физическим, которая возникла из-за «необоснованного» разделения состояний на психические и физические. Употребление в предыдущей фразе слова «необоснованный» без кавычек было бы несправедливостью по отношению к тем, кто когда-то ввел такое разделение. Разве в свое время было необоснованным введение двух названий для одной и той же (как это мы знаем теперь) планеты Венера? Это была совершенно естественная мера предосторожности в условиях дефицита знаний об этих, как казалось тогда, различных объектах.

Введение двух разных имен для одного и того же предмета - еще не ошибка. Ничто не мешает отождествить содержание этих имен впоследствии, когда для этого накопится достаточный объем знаний. Разделение состояний на психические и физические было вполне естественным на

начальных стадиях развития науки об интеллекте. Но теперь, когда о свойствах психических и физических состояний известно уже достаточно много, и, тем не менее, не возникает необходимости в различении этих понятий, вполне созрели условия для провозглашения тождества этих двух «сущностей». Чтобы воображаемая пропасть между психическим и соответствующим ему физическим не отравляла в будущем жизнь специалистам по теории интеллекта, пропасть эту надо ликвидировать. А чтобы сделать это, необходимо принять принцип тождества.

Формулировался ли принцип тождества теми, кто ранее занимался исследованием интеллекта? Наши поиски в этом направлении не дали ясного положительного ответа. Мы можем привести только несколько высказываний двух классиков естествознания, которые с большой натяжкой можно рассматривать как вклад в провозглашение принципа тождества. Шредингер в послесловии к книге [4, с. 122] развивает взгляд, согласно которому ««Я», взятое в самом широком значении этого слова - т.е. каждый сознательный разум, когда-либо говоривший или чувствовавший «я», представляет собой не что иное, как субъект, могущий управлять «движением атомов» согласно законам природы».

Казалось бы, это высказывание не имеет ничего общего с принципом тождества. Однако далее Шредингер пишет: «Само по себе это представление не ново. Насколько мне известно, наиболее ранние упоминания о нем насчитывают уже, по крайней мере, 2500 лет, если не больше. Начиная с древних великих Упанишад, представление о том, что Атман = Брахман (т.е. личная индивидуальная душа равна вездесущей, всепостигающей, вечной душе), ... считалось квинтэссенцией глубочайшего прозрения в то, что происходит в мире» [4, с. 123]. Если под словом «Атман» понимать природу субъективных состояний, а под словом «Брахман» - природу соответствующих им физических состояний, то мы получим принцип тождества. Однако Шредингер, как нам представляется, вкладывает в эти слова иной смысл. Это тем более вероятно, что в другом месте этой же книги Шредингер отрицает возможность естественнонаучного объяснения психофизического параллелизма. Он пишет: «На мой взгляд, природа этого параллелизма лежит в стороне от области естественных наук и, весьма возможно, за пределами человеческого понимания» [4, с. 18]. Между тем, принцип тождества как раз и объясняет существование этого параллелизма. Рассел весьма близок к тому, чтобы признать в субъективном восприятии физический объект. Он отличает восприятие от знания о нем. Рассел пишет: «Суть голого явления - просто определенные цветные пятна. Они ассоциируются с образами осязания, они могут вызвать слова и могут стать источником воспоминаний. Психический объект восприятия, поскольку он наполнен образами осязания, становится «объектом», о котором предполагают, что он физический; наполненный же словами и воспо-

минаниями, он становится «восприятием», которое является частью «субъекта» и считается духовным. Психический объект восприятия - это именно явление; он не бывает ни истинным, ни ложным. Заполненный словами, он есть суждение, и способен быть истинным или ложным. Это суждение я называю «суждением восприятия». Предложение «знание есть восприятие» следует истолковать как означающее «знание есть суждение восприятия». Только в этой форме оно способно в грамматическом отношении быть правильным» [3, с. 174].

В другом месте этой же книги Рассел спорит с утверждением о нефизичности восприятий: «Не доказано, например, что цвета, существенно отличные от тех, которые мы видим, не могут существовать, будучи невидимы. По физиологическим основаниям мы можем полагать, что этого не происходит, но такое основание эмпирично; что касается логики, то нет оснований отрицать наличие цветов там, где нет глаз или мозга» [3, с. 671]. Рассел ставит под сомнение утверждение, что «ничто не может быть одновременно и духовным и материальным» [3, с. 672]. Он добавляет: «Быть наблюдаемым или быть воспринимаемым объектом означает просто воздействовать определенным образом, и нет логических оснований отрицать за всеми событиями способности к воздействиям такого рода» [3, с. 672].

Термин «принцип тождества» широко используется в философской литературе и связывается с именем Шеллинга, который, пытаясь преодолеть дуализм кантовской и фихтевской систем, выдвинул новый исходный принцип монистической философии - абсолютное тождество субъективного и объективного, идеального и реального. Принцип тождества мышления и бытия также лежит в основе гегелевской системы. В настоящее время идеи тождества мышления и бытия проповедуют отдельные школы неотомизма. Марксистская философия обосновывает свой монизм, исходя из идей материального единства мира. Ленин пишет: «...противоположность материи и сознания имеет абсолютное значение только в пределах очень ограниченной области: в данном случае исключительно в пределах основного гносеологического вопроса о том, что признать первичным и что вторичным. За этими пределами относительность данного противоположения несомненна» [5, с. 133]; «За этими пределами оперировать с противоположностью материи и духа, физического и психического, как с абсолютной противоположностью было бы громадной ошибкой» [5, с. 231].

Отправляясь от принципа тождества, можно ответить на множество интересных вопросов. Возникают ли субъективные состояния в организме человека, или же они существуют в каком-то ином смысле, нежели физические состояния? Ответ однозначен: как физические процессы субъективные состояния, естественно, следует искать только в организме человека. Можно ли и как отыскать физический процесс, совпадающий с данным

субъективным состоянием? Можно, для этого надо иметь полное математическое описание данного субъективного состояния (включая и все его связи с другими субъективными состояниями) и полное математическое описание физического состояния (включая и все его связи с другими физическими состояниями), о которых предполагается, что они соответствуют друг другу. Если эти математические описания с точностью до обозначений совпадают друг с другом, значит, мы имеем дело с одним и тем же объектом. В противном случае - это разные объекты.

Можно ли непосредственно воспринять произвольно выбранное физическое состояние таким, каким оно есть на самом деле, т.е. как «вещь в себе»? Можно, для этого надо данное физическое состояние использовать в роли материального носителя субъективного состояния. Будучи подсоединен к этому носителю, механизм разума (неважно чьего) непосредственно воспримет данное физическое состояние в виде некоторого субъективного состояния. Природа этого субъективного состояния не зависит от воспринимающего разума, поскольку, согласно принципу тождества, она совпадает с природой соответствующего физического состояния.

Какова природа произвольно взятой «вещи в себе»? Она такова, какой психологически воспринимает ее разум, использующий эту «вещь в себе» в роли носителя субъективного состояния. И никакой иной она быть не может. Бесплезно искать природу «вещи в себе» еще где-то. Если б нашлась иная природа, отличная от первой, то мы имели бы две различные природы одного и того же физического состояния, иными словами, - не одну, а две «вещи в себе». Если бы мы не воспринимали физические процессы непосредственно в виде субъективных состояний, то никогда б не узнали ни о существовании самих себя, ни о существовании окружающего нас внешнего мира. Любые два разума будут воспринимать одинаковые физические состояния как идентичные субъективные состояния, если первые являются носителями последних. Если два субъекта имеют, к примеру, физически неотличимые механизмы зрения, то при необходимости они будут реагировать на одинаковые световые излучения одинаковыми ощущениями цвета.

Находится ли субъективное состояние за воспринимающим аппаратом, реагирующим на физический его носитель, или перед ним? Перед ним, так как воспринимающий аппарат анализирует физическое состояние, которое, согласно принципу тождества, совпадает с соответствующим ему субъективным состоянием. Субъективное состояние (оно же и физическое) объективно существует вне зависимости от того, воспринимается ли оно каким-либо разумом или нет. Воспринимающий аппарат разума играет роль окна, из которого открывается вид на находящиеся перед ним предметы. Если допустить, что субъективное состояние находится за воспринимающим аппаратом и является его продукцией, то получим противоречие в виде регресса в бесконечность: потребуется еще один прибор для

восприятия полученного субъективного состояния и т.д. Утверждать, что субъективное состояние есть не сам физический процесс, а лишь его образ - носитель этого состояния, столь же нелепо, как говорить, что измеренная длина стола характеризует не сам стол, а лишь его образ.

Авторы должны сознаться, что последовательное применение принципа тождества приводит к весьма непривычным представлениям. Однако создается впечатление, что разработчику теории интеллекта такие представления навязываются принудительно вне зависимости от того, нравятся они ему или нет. Здесь очень многое требует еще осмысления и дальнейшей проработки.

Список литературы: 1. Колесников Д.О., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Интроспекция как эвристическое средство теории интеллекта // Пробл. бионики. 1998. Вып. 49. С. 45-54. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Начала теории интеллекта. Проблемы и перспективы. Рукопись деп. в ВИНТИ 28.06.82, №3324 - 82. Деп. 210 с. 3. Рассел Б. История западной философии. М.: ИЛ, 1959. 932 с. 4. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: ГИИЛ, 1947. 133 с. 5. Ленин В.И. Материализм и эмпириокритицизм. М.: Госполитиздат, 1967. 327 с.

Поступила в редколлегию 24.02.99

И.Б. СИРОДЖА

КВАНТОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ

1. Введение

Математические средства инженерии знаний необходимы при нетрадиционном моделировании сложных объектов, когда отсутствуют предпосылки для создания адекватной теоретической модели и ее построение возможно лишь на основе экспертных знаний. Эти средства предполагают воспроизведение на «интеллектуальном» компьютере человеческих способов рассуждения и решения трудно формализуемых задач. Наиболее известные в этом плане подходы основаны на семантических сетях, фреймовых, продукционных, предикатно-логических моделях знаний, а также на более гибких системах с использованием нечеткой логики (fuzzy logic). Специфическая группа подходов реализуется в рамках эволюционных методов моделирования с использованием генетических алгоритмов (ГА), а также искусственных нейронных сетей (ИНС) [1-3].

В данной работе развивается квантовый подход [4-7] в инженерии знаний, который не только приемлет положительные результаты указанных подходов, но и обеспечивает научное продвижение вперед в плане эффективной автоматической (без эксперта) структуризации данных в разноуровневые (осмысленные) алгоритмические порции (кванты) знаний, количественной и качественной оценки объемов знаний, а также в части ответов на фундаментальные вопросы, например:

- следует ли квант знаний В из кванта А?
- достаточен ли объем базы квантов знаний для принятия конкретных решений в данной проблемной области?

2. Идея и сущность квантового подхода

Идея квантового подхода заключается в построении формального конструктивного класса многоуровневых (по сложности) квантов знаний (к-знаний) как вычислимых структур с учетом семантики в терминах теории алгоритмов и допускающих алгебраические преобразования. Сущность такого подхода раскрывается на примере предложенного метода разноуровневых алгоритмических квантов знаний (РАКЗ – метода) [4-7]. Он основан на единообразном формализме представления разнотипных данных в форме многоуровневых к-знаний, которые позволяют манипулировать ими посредством векторно-матричных операторов, а также создать

новую РАКЗ – технологию синтеза эффективных систем принятия решений в условиях неопределенности.

Квантовый подход предполагает решение трех базовых задач: А-, В-, С – задач, охватывающих не только формализацию к-знаний и процедуры манипулирования ими, но и, в отличие от традиционных подходов, строгое определение класса моделей к-знаний в векторном или функциональном пространстве. С их помощью можно алгоритмически реализовать индуктивный вывод базы квантов знаний (БКЗ) и дедуктивный вывод искомых решений, опираясь на факты и БКЗ при идентификации и экстраполяции состояний объекта принятия решений (ОПР).

При этом в зависимости от точности и степени нечеткости входных данных используются точные кванты (tk-знания) или приближенные (пк-знания) с применением нечеткой логики.

3. Базовые задачи и их решение РАКЗ-методом

3.1. Задача представления разнотипных данных квантами знаний (А – задача) состоит в формализации понятий точных tk- и приближенных pk-знаний о проблемной области и категориях (классах) ОПР на основе использования специально структурированных алгоритмических конструкций разноразмерной сложности с соответствующей семантикой в доменезированной векторно-матричной форме, а также в построении алгоритмов автоматического квантования.

Разнотипному (качественному и количественному) значению характеристики (признака, свойства) ОПР или совокупности знаний отвечает квант 0-го уровня: функции, отношению, вектору – квант 1-го уровня; сложному отношению, матрице – квант 2-го уровня; тензору – квант 3-го уровня и т.д. Однако образование уровней не принципиально и является делом исследователя. В работах [5-7] показана достаточность использования tk-, pk-знаний 0-го, 1-го и 2-го уровней для решения широкого класса мыслимых задач принятия решений.

Для построения, например, конструктивного класса точных РАКЗ – моделей знаний каждый ОПР опишем конечным числом разнотипных характеристик (признаков) x_1, x_2, \dots, x_n , которым поставим в соответствие символично-числовые массивы, называемые доменами. Точкам пространства $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ отвечают доменезированные векторы. Если в качестве терминальных t-квантов выбрать следующие три:

- 1) доменезированный векторный t-квант tk_{0y} с именем y и семантическим кодом tk_0 , отвечающим смыслу точного кванта 0-го уровня: «определенная категория объектов характеризуется n признаками со значениями из множеств $X_j, j = \overline{1, n}$ »;

- 2) выбирающий t -квант 1-го уровня $tk_1\alpha$ с именем α и семантическим кодом tk_1 : «зафиксировано j -е значение i -го признака наблюдаемого объекта из P_i возможных значений»;
- 3) характеристический t -квант 1-го уровня $tk_1\beta$ с семантикой: «значение «1» означает, что j -е значение j -й характеристики объекта достоверно наблюдается в данный момент, а значение «0» утверждает противоположное»,

и воспользоваться известными операторами суперпозиции (П-оператор) и конкатенации (CON-оператор), то приходим к следующему определению:

Определение. Осмысленные алгоритмические структуры, получаемые из терминальных t -квантов $tk_0\gamma$, $tk_1\alpha$ и $tk_1\beta$ путем конечного числа применений к ним П- и CON-оператора, называются равноуровневыми алгоритмическими t -квантами знаний или tk -знаниями. Очевидно, в пространстве $V^N = V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$, изоморфном множеству $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, tk -знания образуют класс M_t точных (t -квантовых) РАКЗ-моделей, которые единообразно описывают факты и импликативные закономерности точками или интервалами пространства V^N либо средствами алгебры конечных предикатов [5-6].

В случае нечетких входных данных задаем нечеткие множества на множествах X_j ($j = \overline{1, n}$), определяем соответствующие функции принадлежности и приходим путем аналогичных построений к классу M_π приближенных (π -квантовых) РАКЗ-моделей ОПР. В частном случае, когда входные данные становятся четкими, π -квантовые РАКЗ-модели сводятся к t -квантовым РАКЗ-моделям. Решение А-задачи завершается синтезом алгоритмов автоматического построения tk -, tk -знаний (квантования) [7]. Под импликативной закономерностью (запретом) r -го ранга понимаем устойчивую связь между r характеристиками ОПР при общем их числе n ($r \leq n$), если в природе не возможна (запрещена) хотя бы одна комбинация их значений. Функциональная закономерность есть частный случай импликативной [5].

3.2. В-задача состоит в синтезе процедур манипулирования tk -, tk -знаниями для экстраполяции (прогнозирования) результатов частичных наблюдений за исследуемыми объектами с заданной надежностью.

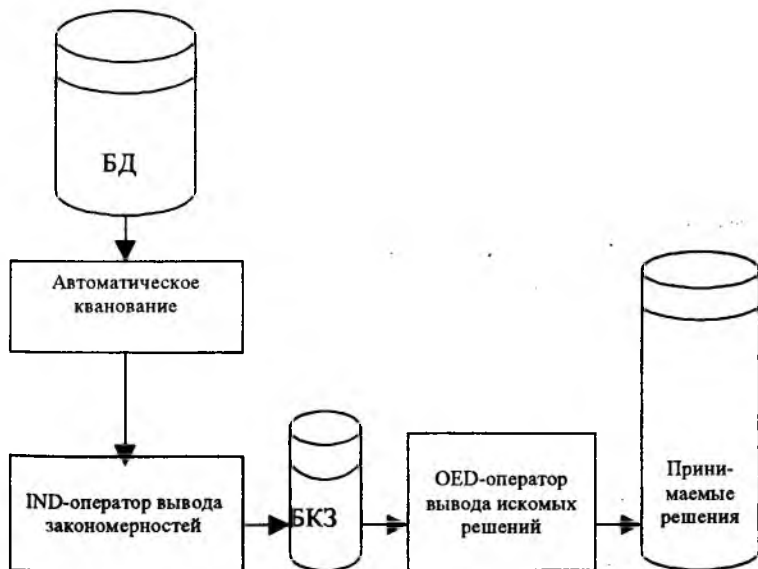
С-задача является частным случаем В-задачи и заключается в распознавании (идентификации) объекта по результатам наблюдений. В частности, при распознавании образов решение принимают для отнесения наблюдаемого объекта к одному из заданных классов (образов) по классифицирующему (целевому) признаку.

Решение В, С-задач основывается на индуктивном выводе базы tk -знаний (БКЗ) в форме импликативных и (или) функциональных закономерностей r -го ранга из выборочных (обучающих) tk -, tk -знаний о про-

блемной области и дедуктивном выводе принимаемых решений с учетом БКЗ и наблюдаемых фактов. В работе [5] доказана важная теорема, позволяющая оценить вероятность существования t -кванта импликативной закономерности g -го ранга в t -кванте обучающих tk -знаний 2-го уровня, объемом $m \times n$, т.е. состоящем из m t -квантов 1-го уровня, которые описывают ОПР n признаками, а также ряд теорем, обосновывающих дедуктивный вывод искомым решений как новых tk -знаний, редуцируемых из БКЗ по наблюдаемым tk -знаниям. Это позволило синтезировать алгоритмическую часть IND-оператора для индуктивного построения БКЗ как системы импликативных закономерностей с заданной надежностью и DED-оператора, реализующего нахождение принимаемых решений в В-, С-задачах.

В работе [7] приведено обоснованное решение В-, С-задач в классе M_n n -квантовых РАКЗ-моделей.

Таким образом, общую методику решения основных задач инженерии знаний предложенным РАКЗ-методом можно представить функциональной схемой (рисунок).



Функциональная схема принятия решений РАКЗ методом

Для случая нечетких входных данных IND- и DED-операторы имеют модифицированный вид [7], хотя общая методология соответствует схеме (рисунок).

4. Заключение

В рамках квантового подхода разработан ПАКЗ-метод и новая информационная технология решения задач инженерии знаний, позволяющая сократить количество традиционных стадий инженерии знаний от пяти до трех:

- 1) идентификация проблемы;
- 2) приобретение знаний;
- 3) тестирование

и повысить степень интеллектуальности системы за счет способности обучаться. При этом роль инженера по знаниям минимизируется и ограничивается лишь этапом идентификации проблемы. Временные затраты на создание исследовательских прототипов прикладных систем сокращены в 7-10 раз.

Список литературы: 1. *Holland J.H.* Adaptation in natural and artificial systems. An Introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence. London: Bradford book edition, 1994. 211 p. 2. *Aleksander I., Morton H.* An Introduction to Neural Computing. London: Chapman & Hall. 1990. P. 218-232. 3. *Haykin S.* Neural Network. A Comprehensive Foundation. – New York: Macmillan College Publishing Company, 1994. 691 p. 4. *Sirodzha I.* Analyst and synthesis of Knowledge-Bases models and Systems of Pattern Recognition //Sov. Jom. In Eng Transl. Pattern Recognition and Image Analyst: Advanced in Mathematical Theory and Applications in USSR. 1991. Vol. 1, №1. P.129-132. 5. *Сироджа И.Б.* Математическое и программное обеспечение интеллектуальных компьютерных систем. Харьков, ХАИ, 1992. 101с. 6. *Сироджа И.Б.* Теория и новая информационная технология принятия производственных решений на основе инженерии знаний //Інформація та нові технології. 1996. №3. С. 6-10. 7. *Петренко Т.Ю., Сироджа И.Б.* Квантовые модели нечетких знаний для принятия приближенных решений при недостатке данных //Пробл. бионики. 1998. Вып. 48. С. 129-140.

Поступила в редколлегию 21.10.98

Н.А. ВАЛЕНДА, Г.Ф. ДЮБКО

ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ АНАЛИЗА ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Задача анализа естественного языка (ЕЯ) предполагает наличие формальной системы, которая исходной языковой конструкции ЕЯ (ЕЯК) сопоставляет выражаемый ею смысл. ЕЯК определяется правилами ее построения, заданными лингвистическими знаниями, которые изложены в словарях (орфографических, толковых) и учебниках грамматики соответствующего языка. В качестве примера рассмотрим русский язык.

Задача автоматического анализа языка с помощью формальных систем имеет историю с временным интервалом около 50 лет. При этом рассматривался анализ как естественных, так и формальных языков. Следует отметить, что успехи в анализе формальных языков превосходят успехи в анализе естественных языков. Для формальных языков сформулированы четкие формальные системы (регулярные выражения, грамматики всевозможных типов), ориентированные на классы языков и позволяющие полную формализацию анализируемого языка и самого процесса его анализа на основе синтаксиса.

Формализация ЕЯ и процесса его анализа только синтаксическими методами наталкивается на значительные трудности, поскольку и процесс описания языка, и процесс анализа требуют для своего осуществления семантической информации. Отсюда вытекают попытки описания и анализа языка с включением в эти процессы семантики [1,2].

В процессе работ по автоматическому анализу формального и естественного языка выработалась традиционная структура анализатора, содержащая лексический (морфологический в ЕЯ) и синтаксический анализаторы. При этом для лексического (морфологического) анализа применяется аппарат регулярных выражений, а для синтаксического – аппарат формальных грамматик. Если в формальных языках регулярные выражения и грамматики применяются напрямую, то в естественных языках эти формализмы облакаются в не совсем строгие формулировки в виде семантических сетей, фреймов, графов и т. д.

Существуют различные подходы к реализации морфологического анализа. С физической точки зрения можно выделить программный [3] и аппаратный способы [4]. Предлагаемый в данной работе подход относится к программному. В программном подходе различают декларативный и процедурный методы анализа. При декларативном методе задается словарь всех словоформ и по нему отыскивается слово и связанная с ним морфологическая информация. Процедурный подход реализует алгоритмы получения слово-

форм. Декларативный подход более эффективный, чем процедурный, но требует большого расхода памяти и до недавнего времени не применялся для языков типа русского с большим количеством словоформ некоторого слова.

В формальных языках проблема лексического анализа реализуется декларативным путем на основе конечных автоматов [5], базовых сетей переходов. В предлагаемой работе сделана попытка объединить строгие методы анализа, применяемые в формальных языках, с нечеткими семантическими конструкциями ЕЯ, и предложить основные принципы реализации этих методов, совершенствуя существующие методы анализа языка и добавляя в них новые возможности.

Задачу морфологического анализа предложено решить на базе конечного автомата, реализованного списочной структурой. Такая списочная структура должна храниться на внешнем запоминающем устройстве ЭВМ. Ясно, что ее объем будет весьма значителен, поэтому сама структура разбивается на составляющие части и организуется доступ только к части структуры, где содержится необходимая словоформа и ее морфологическая информация. Рассмотрим способ организации такой структуры на базе конечного автомата.

Под конечным автоматом будем понимать пятерку $A=(V_T, Q, \delta, q_0, F)$, где V_T - терминальный алфавит; Q - состояния конечного автомата; δ - функции перехода: $Q \times V_T \rightarrow Q$, q_0 - начальное состояние, F - множество заключительных состояний.

Каждое слово, поступая на вход конечного автомата, должно им идентифицироваться, т.е. допускаться путем функционирования конечного автомата. Функционирование производится шагами, а каждый шаг имеет вид $(q_i, aw) \Rightarrow (q_j, w)$, где q_i - текущее состояние; «а» - символ, читаемый автоматом; w - остаток непрочитанного входного слова; q_j - состояние, в которое переходит автомат.

Слово w считается допущенным автоматом, если $(q_0, w) \Rightarrow^* (q_f, \varepsilon)$, где \Rightarrow^* - транзитивное замыкание операции \Rightarrow , q_0 - начальное состояние, $q_f \in F$, ε - обозначает, что входное слово прочитано.

Любой конечный автомат может быть чисто формальным путем преобразован в детерминированный минимальный конечный автомат (КА) [6].

Существуют различные формы представления и реализации КА. Одна из них - диаграмма, соответствующая некоторой сети. Как известно, сеть эффективно представляется списком. Здесь представляется реализация словаря детерминированным минимальным КА, реализованным в виде списка [5]. Рассмотрим принципы составления такого словаря. Пусть словарь представлен множеством слов: *автор, авторитет, авторитарный, актер, бездна, бездарь, Бог, поход, переезд*. Строим из них структуру, представленную на рисунке.

①	②	③	⑥	③③	③④	③⑤	③⑥	③⑦	③⑧	③⑨	④⑩	④⑪	④⑫
а	б	...	п	я	в	и	а	к	е	а	о	о	е
/③④/	/③⑧/	...	/④⑪/	/	т	т	р	т	з	р	г	х	р
				...	о	е	н	е	д	ь	/	о	е
					р	т	ы	р	н	/		д	х
					/③⑤/	/	й	/	а			/	о
							/						д
МИ	МИ		МИ		МИ	МИ	МИ	МИ	МИ	МИ	МИ	МИ	/МИ
1	2		7		34	35	36	37	38	39	40	41	42

Структура для идентификации слов
и связанной с ними морфологической информации

Структура - это список из слов; слова составлены компактно, общая часть (от начала слова) употребляется только один раз. Связь между начальной частью и продолжением указывается ссылкой. Символ / обозначает конец слова и заключительное состояние автомата. Если слово закончилось, делается ссылка на его морфологические признаки. Достоинства рассмотренной структуры - в легкости ее модификации, быстроте доступа.

Произведя разбивку входного текстового потока на слова и присвоив словам соответствующие морфологические характеристики, приступаем к синтаксическому анализу текстового сообщения. В результате синтаксического анализа получаем структуру, которая увяжет связи между элементами сообщения. На основании этих связей будем конструировать семантику ЕЯК. Для выполнения синтаксического анализа будем использовать вывод в формальной системе [7]. В качестве таковой изберем грамматику. По определению, грамматика есть четверка $G=(V_T, V_N, P, S)$, где V_T - терминальный символ; V_N - нетерминальный алфавит; P - множество продукций; S - аксиома.

Функционирование ФС и есть процесс вывода в ней истинных языковых конструкций. Вывод осуществляется шагами. Шаг вывода в грамматике при использовании продукций $\alpha \rightarrow \beta$ (α, β - некоторые языковые конструкции) обозначается $\gamma\alpha\delta \Rightarrow \gamma\beta\delta$ и состоит в замене α (левая часть продукции) на β (правая ее часть), где $\gamma\alpha\delta$ - уже выведенная языковая конструкция. В этом смысле продукция часто именуется правилом переписывания, чтобы отличить от правила $\alpha \supset \beta$ в системе логического вывода. В дальнейшем будем именовать правило переписывания продукцией.

Некоторая языковая конструкция w считается выведенной в грамматике, если $S \Rightarrow^* w$, где S - аксиома грамматики, \Rightarrow^* - транзитивное замыкание операции \Rightarrow , w - цепочка, состоящая только из терминальных символов. В рас-

смаатриваемой работе для описания синтаксиса русского языка избрана атрибутивная грамматика. Для придания смысла элементам языковой конструкции вводим символы действий, образуя атрибутивную транслирующую грамматику и оставаясь в рамках КС-грамматики. Дадим определение используемой грамматики $G^{A,T}$, где А - обозначает атрибутивная, Т - транслирующая.

Определение. $G^{A,T} = (V_T, V_N, V_D, P, S)$, где V_T - алфавит терминальных символов; V_N - алфавит нетерминальных символов; V_D - алфавит символов действий; P - множество продукций вида $A \rightarrow \alpha$. Здесь $A \in V_N$, $\alpha \in (V_T \cup V_N \cup V_D)^*$, S - аксиома.

Для иллюстрации принципов, заложенных в синтаксический анализ, рассмотрим пример описания небольшого фрагмента русского языка. При этом будем исходить из того, что морфологический анализ всех слов выполнен с помощью словаря, описанного выше. Поэтому будем считать, что терминальный алфавит состоит не из букв, а из слов и каждый терминальный символ имеет вид {класс, морфологическая категория}, где класс = слово, морфологическая категория = {существительное, глагол, прилагательное...}, т.е. терминальные символы будем различать по классу (может быть класс "знак пунктуации") и морфологическим категориям. Для краткости терминалы можно обозначать «г» - глагол, «с» - существительное, «п» - прилагательное, «м» - местоимение, «н» - наречие, «р» - предлог, «с» - союз.

Каждый терминальный символ в зависимости от морфологической категории имеет определенное количество атрибутов.

Обозначим символ с атрибутами в виде $X_{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n}$, где порядок расположения индексов-атрибутов символа несет определенную смысловую нагрузку. Например, $S_{сд, см, од, нар, род, число, падеж, скл}$ обозначает, что терминальный символ есть существительное с 8 атрибутами.

Для простоты ограничимся описанием только простых предложений, состоящих из глаголов и существительных вида «существительное - глагол-существительное». Например, «автобус ведет водитель» (1), «автобус пылит дорогой» (2), «автобус управляется водителем» (3). С помощью обычной КС-грамматики можно было бы описать структуру наших предложений такими продуктами:

- <предложение> \rightarrow <подлежащее><сказуемое><дополнение> | <дополнение><сказуемое><подлежащее>
- <сказуемое> \rightarrow <глагол>
- <подлежащее> \rightarrow <существительное>
- <дополнение> \rightarrow <существительное>

Однако при синтаксическом анализе в предложении (1) мы не смогли бы выявить его синтаксическую структуру, основываясь только на продукциях, даже атрибутивных. Например, продукция

$$\langle \text{подлежащее} \rangle_{a_7 - \text{именительный}} \rightarrow C_{a_1, \dots, a_8}$$

не дает результата, так как «автобус» и «водитель» два существительных, которые находятся одновременно в двух падежах - именительном и винительном.

Для выявления структуры предложения (1) необходимо привлечь семантику рассматриваемых существительных, которая бы выявила, что для глагола «вести» существительное «водитель» является агентом, а «автобус» - объектом [1] с точки зрения глубинных падежей.

Предположим, что кроме синтаксической структуры предложения, задающей сущности с их характеристиками и отношения между ними, мы хотели бы иметь его семантический эквивалент. Пусть этот семантический эквивалент состоит в определении глагольной функции от двух переменных, одна из которых есть агент, а другая - объект: $f_{гл}(x_1, x_2)$. Смысл этой функции состоит в том, что она указывает выполнение действия 'i' объектом x_1 над объектом x_2 . Принятая нами форма записи функции и есть формализация этой семантики.

Рассмотрим общий вид продукции используемой нами грамматики (на примере описанного выше фрагмента русского языка), которая, кроме собственно продукции, включает в себя определенные процедуры. Их параметрами являются значения атрибутов и самих символов, а также значения, находящиеся в БЗ «внутренний мир».

Для более компактного описания грамматики языка введем кроме V_T, V_N, V_D еще один алфавит - условных символов. Условный символ есть переменная, которая принимает значения конкретных символов из V_N, V_D в зависимости от контекста, выраженного значениями атрибутов.

Так, предложения типа (1)-(3) по синтаксису и семантике могут быть выражены продукциями:

1. <предложение> $\rightarrow X_{p_1, \dots, p_9}$ <сказуемое> $_{q_1, \dots, q_9} X_{r_1, \dots, r_8} Z$;
2. $X_{p_1, \dots, p_9} \rightarrow C_{a_1, \dots, a_8}$;
3. <сказуемое> $_{q_1, \dots, q_9} \rightarrow \Gamma_{a_1, \dots, a_8}$,

где X, Z - условные символы; X обозначает либо <подлежащее>, либо <дополнение>; Z обозначает семантическую функцию $f_{гл}(x_1, x_2)$. Чтобы продукция 1-3 правильно отражали синтаксис и семантику языка, нужно снабдить их соответствующими процедурами над значениями атрибутов. Сделаем это следующим образом.

Пусть $f_{гл}(x_1, x_2, x_3)$ обозначает более удобную запись глагольной функции со смысловым значением x_1 глагола, агентом, т.е. воздействующим объектом, x_2 и объектом, на который оказывается воздействие, x_3 . Каждая из переменных x_1, x_2, x_3 задана соответствующим словом, смысл которого $V(x)$ может быть найден в семантическом словаре. Таким образом, рассматриваемая семантическая функция может быть представлена формулой

$$f_{гл}(V(\langle \text{глагол} \rangle_{q_1, \dots, q_8}), V(\langle \text{существительное} \rangle_{p_1, \dots, p_8}), V(\langle \text{существительное} \rangle_{r_1, \dots, r_8})).$$

Продукции 1-3 описанной выше грамматики представим в виде:

- 1'. <предложение> $\rightarrow X_{p_1, \dots, p_9}$ <сказуемое> $_{q_1, \dots, q_9} X_{r_1, \dots, r_8} f_{гл}(V(\langle \text{глагол} \rangle_{a_1, \dots, a_8}), \dots$

$V(Z_1), V(Z_2)$;

процедура проверки контекстных условий и присваивания значений условным символам и атрибутам;

2'. $X_{p_1, \dots, p_9} \rightarrow C_{a_1, \dots, a_8}$,

$p_1 := a_1; \dots; p_8 := a_8; p_9 := \text{'существительное'}$;

3'. $\langle \text{сказуемое} \rangle_{q_1, \dots, q_9} \rightarrow \Gamma_{a_1, \dots, a_8}$,

$q_1 := a_1; \dots; q_8 := a_8; q_9 := \text{'глагол'}$.

Опишем в виде таблиц решений [8,9] процедуру проверки контекстных условий и расшифровки условных символов. Напомним, что эта процедура относится к продукции 1' грамматики (табл. 1-3).

ТР 1 - ТР 2 позволяют получить полный семантический эквивалент рассматриваемого предложения ЕЯ, присвоив соответствующие значения атрибутам в процессе синтаксического анализа. В ТР 1 использована процедура SF(r_2), которая основана на семантике предложения.

Таблица 1

ТР 1						
	Условия	R1	R2	R3	R4	E
1	$p_9 \wedge r_9 = \text{'существительное'}$	1	1	1	1	
2	$q_9 = \text{'глагол'}$	1	1	1	1	
3	$q_8 = \text{'действительный залог'}$	1	0	1	0	
4	$q_6 = \text{'3e лицо'}$	1	1	1	1	
5	$r_7 = \text{'именительный, винительный'}$	1	0	1	1	
6	$p_7 = \text{'именительный, винительный'}$	1	1	1	0	
7	$SF(r_2) = \text{'агент'}$	1	1	0	0	
Действия						
1	GOTO ТР 2.		x			
2	1 ^e вхождение X есть <дополнение>, 2 ^e вхождение X есть <подлежащее>, формировать: $f_{гл}(V(\langle \text{глагол} \rangle_{q_1, \dots, q_8}), V(\langle \text{существительное} \rangle_{r_1, \dots, r_8}), V(\langle \text{существительное} \rangle_{p_1, \dots, p_8}))$	x				
3	1 ^e вхождение X есть <подлежащее>, 2 ^e вхождение X есть <дополнение>, формировать: $f_{гл}(V(\langle \text{глагол} \rangle_{q_1, \dots, q_8}), V(\langle \text{существительное} \rangle_{p_1, \dots, p_8}), V(\langle \text{существительное} \rangle_{r_1, \dots, r_8}))$			x		
4	GOTO ТР 3				x	
5	Ошибка					x

Таблица 2

ТР 2			
	Условия	R1	E
1	2	3	4
1	$r_7 = \text{'творительный'}$		
Действия			
1	1° вхождение X есть <подлежащее>, 2° вхождение X есть <дополнение> формировать: $f_{гл}(V\langle\text{глагол}\rangle_{q1,\dots,q8}), V\langle\text{существительное}\rangle_{r1,\dots,r8}),$ $V\langle\text{существительное}\rangle_{p1,\dots,p8})$	x	
2	Ошибка		x

Таблица 3

ТР 3			
	Условия	R1	E
1	$r_7 = \text{'творительный'}$		
Действия			
1	1° вхождение X есть <дополнение>, 2° вхождение X есть <подлежащее> формировать: $f_{гл}(V\langle\text{глагол}\rangle_{q1,\dots,q8}), V\langle\text{существительное}\rangle_{p1,\dots,p8}),$ $V\langle\text{существительное}\rangle_{r1,\dots,r8})$	x	
2	Ошибка		x

Рассмотрим основные принципы реализации такой процедуры на примере разбора предложения «автобус ведет водитель». Для глагола «вести» в [8] на 2-й позиции описания смысла имеем в виде суперпозиции семантических функций фразу

$$f_{гл}(V(\text{направлять}), V(x), f_{\text{родительного падежа}}(V(\text{движение}), V(y))) \quad (4),$$

эквивалентную фразе в ЕЯ «направлять чье-либо движение» (эта фраза и указана в словаре в качестве смысла). Вернее (4) в более точном виде отражает фразу «тот x, который направляет движение у».

Анализируемое предложение удовлетворяет продукции 1', следовательно, в качестве «агента» может выступать либо p_2 , либо r_2 . Напомним, что $p_2 = \text{'автобус'}$, $r_2 = \text{'водитель'}$.

Для выявления «агента» воспользуемся семантическими значениями нужных нам слов из [10]:

- автобус - П(V(автомобиль), V(многоместный)) (5),
- автомобиль - П(V(средство), V(самодвижущееся)) (6),
- водитель - $f_{гд}$ (V(управляет), V(водитель), П(V(машина), V(самодвижущаяся))) (7).

Используем теперь процедуру вывода в некоторой формальной системе (т.е. по заранее четко описанным правилам), применяя операцию унифицирования (аналогичную унификации в логическом выводе для исчисления предикатов).

Положим $X = \text{'автобус'}$, $Y = \text{'водитель'}$, что в соответствии с (4) обозначает: «автобус воздействует на водителя». Проверим в соответствии с (5), что это возможно, т.е. унифицируемость агента в (4) с его определением в (5). Для этого проверим унифицируемость функциональных символов $f_{гд}$ и П. $f_{гд}$ описывает воздействие одного объекта на другой, а П (функция прилагательного) в данном контексте описывает характеристику объекта. Следовательно, $f_{гд}$ и П неунифицируемы, и «автобус» не может быть агентом.

Положим теперь $X = \text{'водитель'}$, $Y = \text{'автобус'}$. Следовательно, необходимо унифицировать (4) с (7) при новых значениях X, Y. Функциональные символы в обоих случаях $f_{гд}$, поэтому можно рассматривать процесс унификации двигаясь далее по строкам из (4) и (7). Необходимо установить унифицируемость «направлять» из (4) и «управлять» из (7). В [10] находим в одной из позиций для «управлять» значение: «направлять ход...» (8). Следовательно, текущие позиции из (4) и (7) унифицировались как константы с помощью (8). Следующая позиция в (4) и (7) - «водитель» - унифицируется как константа. Последняя позиция в (4) и (7) также унифицируется по тому же принципу.

Из (4): $f_{\text{родительного падежа}}$ (V(движение), V(автобус)) (9),

из (7): П(V(машина), V(самодвижущаяся)) (10)

$f_{\text{родительного падежа}}$ и П допускают унифицирование, так как могут оба обозначать некоторую характеристику объекта (как раз «движение автобуса» и «самодвижущаяся машина» и обозначают такие характеристики). Можно двигаться по строке далее: из (9) выделяем главный объект «автобус», а из (10) - «машина». Эти объекты унифицируемы как константы [10]: «машина» = «автомобиль»; «автобус» = «автомобиль» из (5).

На этом унифицирование можно прекратить, выделив в качестве «агента» существительное «водитель». При необходимости унифицирование можно продолжить, рассмотрев слова «движение» и «самодвижущаяся», которые тоже относятся к одному классу, т.е. унифицируемы. В этом случае мы получаем абсолютную унифицируемость (4) и (7), что позволяет говорить об определенной эквивалентности предложений (4) и (7).

В заключение можно отметить универсальность рассмотренных в статье методов лексического и синтаксического анализа, что позволяет надеяться на их успешное приложение к анализу естественного языка.

Список литературы: 1. Филмор Ч. Дело о падеже // Новое в зарубежной лингвистике, вып. X. Лингвистическая статистика. М.: Прогресс, 1981. С. 369-495. 2. Шенк Р. Обработка концептуальной информации. М.: Энергия, 1980. 360 с. 3. М.Ф. Бондаренко, А.Ф. Осыка. Автоматическая обработка информации на естественном языке. К.: УМКВО, 1991. 144 с. 4. М.Ф. Бондаренко, В.А. Чикина О методе математического описания морфологических отношений и их схемной реализации // Пробл. бионики. 1998. № 48. С. 3-11. 5. Льюис Ф., Розенкранц Д., Стирнз Р. Теоретические основы проектирования компиляторов. М: Мир, 1979. 654 с. 6. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Том 1. Синтаксический анализ. М.: Мир, 1978. 612 с. 7. Дюбко Г.Ф. Введение в формальные системы. К: НМК ВО, 1992. 171 с. 8. Фрайтаг Г., Года В. и др. Введение в технику работы с таблицами решений. М.: Энергия, 1979. 88 с. 9. Дюбко Г.Ф., Самофалов П.Л. Описание знаний и использование таблиц решений // АСУ и приборы автоматики. 1997. №104. С. 81-84. 10. Ожегов С.И. Словарь русского языка. М.: Русский язык, 1985. 797 с.

Поступила в редколлегию 28.09.98

УДК 519.7

Л.Л. КОЗЯЕВ, Р.П. КОСИНОВ,
С.А. ПОСЛАВСКИЙ, С.Ю. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АДАПТАЦИИ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

В этой статье модель адаптации однокомпонентного ахроматического зрения человека, предложенная в работе [1, с. 112-172], обобщается и распространяется на случай трехкомпонентного цветового зрения. Эффект адаптации проявляется, например, в случае, когда человек переходит с яркого света в полутемное помещение. Вначале он видит все предметы очень темными, но проходит некоторое время, и все постепенно светлеет. Противоположный процесс наблюдается при выходе человека из помещения на яркий солнечный свет. В первые мгновения свет слепит глаза, но проходит несколько минут, и видимый уровень яркости предметов заметно снижается. Поскольку уровень освещенности в обоих случаях объективно остается постоянным во времени, то изменение яркости предметов можно объяснить только регулированием сигналов в зрительной системе человека. Адаптация представляет собой реакцию глаза на зрительные картины, сравнительно медленно меняющиеся во времени. При более быстром изменении зрительной картины возникают явления инерции зрения. Изучение реакций глаза на сравнительно медленно меняющиеся во времени зрительные картины обнаруживает в зрительной системе человека автоматически действующий механизм регулировки усиления сигналов. Знание этого механизма полезно при создании телевизионных, видеотехнических, робототехнических систем, а также систем распознавания объектов и во многих других областях техники.

Исследование адаптации цветового зрения человека будем вести на базе математической модели (1).

$$\begin{aligned}v_1(t) &= u_1(t) - k \int_{-\infty}^t u_1(t) K(t-\tau) d\tau; \\v_2(t) &= u_2(t) - k \int_{-\infty}^t u_2(t) K(t-\tau) d\tau; \\v_3(t) &= u_3(t) - k \int_{-\infty}^t u_3(t) K(t-\tau) d\tau.\end{aligned}\tag{1}$$

Система представляет собой линейное интегральное преобразование $v=F(u)$ цвета u до адаптации в цвет v после адаптации. Цвета $u=(u_1, u_2, u_3)$ представлены своими координатами u_1, u_2, u_3 и v_1, v_2, v_3 в цветовом пространстве R , называемом *психологическим*. Цвета u и v изменяются во времени: $u=u(\tau)$, $v=v(t)$. Символ τ используется для обозначения времени, в котором изменяется входной сигнал $u(\tau)$, t - выходной $v=v(t)$. Символом K обозначено ядро интегрального преобразования (1), оно для всех трех компонентов преобразования принимается одним и тем же. Масштаб функции K определяется нормирующим соотношением

$$\int_0^{\infty} K(\tau) d\tau = 1. \quad (2)$$

Зависимость $K(\tau)$ называется *функцией динамики адаптации*. Ее вид определяет ход адаптации во времени. Число k также принимается одним и тем же для всех трех компонентов преобразования (1). Его величина характеризует глубину регулирования усиления сигналов в зрительной системе при изменении уровня освещенности наблюдаемых предметов. Число k называется *постоянной статикой адаптации*. Параметры $K(\tau)$ и k модели (1) определяются из опыта по специальной методике.

Координаты u_1, u_2, u_3 цвета u в психологическом пространстве формируем следующим способом. Первоначально цвет u представляем в какой-нибудь колориметрической системе [2, с. 237-244], называемой далее *физическим цветовым пространством* P . В нем координаты x_1, x_2, x_3 цвета u вычисляем по формулам [2, с. 196]:

$$x_1 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} a(\lambda) A_1(\lambda) d\lambda, \quad x_2 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} a(\lambda) A_2(\lambda) d\lambda, \quad x_3 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} a(\lambda) A_3(\lambda) d\lambda, \quad (3)$$

где λ - длина волны световых колебаний; $[\lambda_1, \lambda_2]$ - диапазон длин световых колебаний; $A_1(\lambda), A_2(\lambda), A_3(\lambda)$ - функции спектральной чувствительности, характеризующие физическое цветовое пространство; $a(\lambda)$ - спектр светового излучения, порождающего цвет u . Далее, цвет u представляем в специальной колориметрической системе, называемой *физиологическим цветовым пространством* [2, с. 254-260] Q . Координаты y_1, y_2, y_3 цвета u в пространстве Q выражаем через координаты x_1, x_2, x_3 того же цвета в пространстве P с помощью линейного преобразования [2, с. 243]:

$$y_1 = a_{11}x_1 + a_{22}x_2 + a_{33}x_3; \quad y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3; \quad y_3 = a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3. \quad (4)$$

Числовые значения параметров a_{ij} ($i, j = \overline{1, 3}$) преобразования (4) определяются из опыта по описываемой ниже методике. Логарифмируя числа

y_1, y_2, y_3 , получаем координаты u_1, u_2, u_3 цвета u в психологическом цветовом пространстве:

$$u_1 = \lg y_1; \quad u_2 = \lg y_2; \quad u_3 = \lg y_3. \quad (5)$$

Опишем эксперименты по определению численного значения параметра k модели (1). На экране дисплея персонального компьютера на соседних полях (рис. 1) формируются два цвета - $u'(\tau)$ и $u''(\tau)$, которые предъявляются испытуемому.

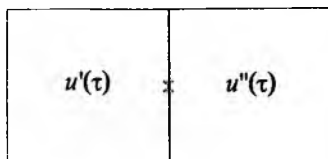


Рис. 1

Цвета на полях сравнения формируются компьютером с помощью специальной программы. Цвет $u=(x_1, x_2, x_3)$ измеряется в международной системе XYZ [2, с. 247-254], при этом принимаем

$$x_1=X; \quad x_2=Y; \quad x_3=Z. \quad (6)$$

Цветности x, y [2, с. 248] цветов, предъявляемых испытуемому в пределах одного опыта, принимаются одинаковыми; с течением времени они не меняются. Координаты x_1, x_2, x_3 цвета u выражаются через его цветности x, y и яркость Y по формулам

$$x_1=\alpha Y; \quad x_2=\beta Y; \quad x_3=\gamma Y; \quad (7)$$

где

$$\alpha = \frac{x}{y}; \quad \beta = 1; \quad \gamma = \frac{1-x-y}{y}. \quad (8)$$

Все цвета, используемые в одном эксперименте, изображаются в физическом цветовом пространстве P в виде точек, которые лежат на одном луче, исходящем из начала координатной системы XYZ. В параметрической форме этот луч записывается равенствами (7). Положение луча в пространстве определяется выбором чисел α, β, γ , а в конечном счете – чисел x, y . Числа x, y определяются через α, β, γ по формулам

$$x = \frac{\alpha}{\alpha + \beta + \gamma}; \quad y = \frac{1}{\alpha + \beta + \gamma}. \quad (9)$$

Каждый опыт выполнялся следующим образом. Поля назначались размером 100×100 мм каждое, располагались они вплоты друг к другу. Формируемые цвета на полях сравнения имели одинаковые координаты цветности x, y , которые в каждом опыте выбирались произвольно по желанию экспериментатора. На левом поле произвольно устанавливалась яркость Y_0 , на правом - яркость Y_1 . Испытуемый, находясь на расстоянии 50 см от экрана, в течение 2 мин фиксировал взгляд на середине границы полей сравнения в точке, помеченной крестиком (рис. 1). После этого яркость правого поля скачкообразно менялась и устанавливалась на другом уровне Y_2 . Яркость Y_2 подбиралась с таким расчетом, чтобы оба поля в первый момент времени после смены уровня яркости на правом поле виделись одинаковыми по светлоте. Эксперименты выполнялись без внешнего освещения. За пределами полей сравнения на экране формировался черный фон. Результаты экспериментов при $x=0,31, y=0,31$, выполненных на испытуемом К, указаны в таблице. В ней каждой паре Y_0, Y_1 поставлена в соответствие яркость Y_2 , которая обеспечивает не только светлотное равенство полей сравнения, но и практически точное их совпадение по цвету.

Y_0/Y_1	0,2	0,5	1,2	3,0	5,0	7,0
0,2	0,20	0,45	0,85	1,98	3,12	4,19
0,5	0,26	0,50	1,09	2,00	3,20	4,35
1,2	0,30	0,60	1,20	2,37	3,70	4,80
3,0	0,35	0,67	1,39	3,00	4,52	6,25
5,0	0,41	0,80	1,60	3,27	5,00	6,55
7,0	0,45	0,90	1,77	3,45	5,25	7,00

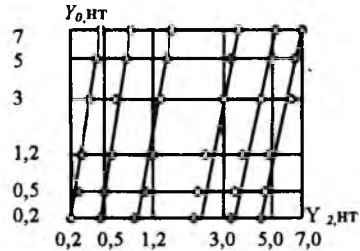


Рис. 2

Выведем из принятой выше модели адаптации теоретическую связь между величинами Y_0, Y_1, Y_2 . Подставляя (7) в (4), получаем

$$y_1 = \sigma_1 Y; \quad y_2 = \sigma_2 Y; \quad y_3 = \sigma_3 Y, \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= a_{11}\alpha + a_{12}\beta + a_{13}\gamma; \\ \sigma_2 &= a_{21}\alpha + a_{22}\beta + a_{23}\gamma; \\ \sigma_3 &= a_{31}\alpha + a_{32}\beta + a_{33}\gamma. \end{aligned} \quad (11)$$

После подстановки (10) в (5) получаем

$$u_1 = \lg \sigma_1 Y; \quad u_2 = \lg \sigma_2 Y; \quad u_3 = \lg \sigma_3 Y. \quad (12)$$

Субъективно цвета полей сравнения, после скачка яркости на правом поле, выглядят равными. Этому факту в теории соответствуют следующие равенства:

$$v'_1(t) = v''_1(t); \quad v'_2(t) = v''_2(t); \quad v'_3(t) = v''_3(t), \quad (13)$$

где t - момент времени, в который осуществляется выравнивание цветов на полях сравнения. Отсюда и из (1), (5) и (12) следует:

$$\begin{aligned} \lg \sigma_1 Y_0 - k \int_{-\infty}^t \lg \sigma_1 Y_0 K(t-\tau) d\tau &= \lg \sigma_1 Y_1 - k \int_{-\infty}^t \lg \sigma_1 Y_1 K(t-\tau) d\tau; \\ \lg \sigma_2 Y_0 - k \int_{-\infty}^t \lg \sigma_2 Y_0 K(t-\tau) d\tau &= \lg \sigma_2 Y_2 - k \int_{-\infty}^t \lg \sigma_2 Y_1 K(t-\tau) d\tau; \\ \lg \sigma_3 Y_0 - k \int_{-\infty}^t \lg \sigma_3 Y_0 K(t-\tau) d\tau &= \lg \sigma_3 Y_3 - k \int_{-\infty}^t \lg \sigma_3 Y_1 K(t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (14)$$

После упрощений с учетом (2) все три равенства (14) превращаются в одно и то же соотношение:

$$\lg Y_1 = (1-k) \lg Y_0 + k \lg Y_1, \quad (15)$$

которое можно записать еще и иначе в виде

$$Y_2 = Y_0^{1-k} Y_1^k. \quad (16)$$

Величину k отыскиваем по экспериментальным данным, приведенным в таблице. Эти данные нанесены в виде кружков на графике, представленном на рис. 2. К ним подобраны теоретические линии, построенные по формуле (15). Масштаб по осям графика - логарифмический. Наилучшее согласование теоретических данных с экспериментальными достигается при $k=0,80$. Опыты, проведенные при других значениях координат цветности x , y , дают такую же картину и приводят к тому же самому значению параметра k . По изложенной выше методике были дополнительно поставлены опыты на шести испытуемых. Характер результатов опытов остался прежним. Для различных испытуемых были отмечены лишь незначительные отличия в постоянной статике адаптации, значения которой не выходили за пределы $k=0,70 \div 0,85$. В ходе опытов выяснялся вопрос о том, какие размеры полей должны быть выбраны, чтобы избежать влияния явлений индукции так называемого *пространственного контраста* (адаптация называется *временным контрастом*). С этой целью предварительно была проведена серия опытов при фиксированных значениях цветности x , y и яркостей Y_0 , Y_1 полей сравнения, но с изменением их размера. Было выяснено, что при размере квадрата каждого поля 50 мм и меньше результаты эксперимента (т. е. яркость Y_2) начинают заметно изменяться. При вариации размера полей вне указанных границ результаты опытов остаются практически стабильными.

Отсутствие влияния явлений контраста по результатам опытов проверялось также с помощью бинокулярного фотометрирования. С этой целью один глаз с помощью бинокля адаптировался к левому полю, а другой – к правому. В этом случае индукция принципиально не может повлиять, так как каждому глазу предъявляется однородная картина. Опыты показали, что установки получаются те же, хотя их точность значительно ниже. Кроме того, специальные опыты были выполнены в целях выяснения вопроса о том, какое время адаптации выбрать, чтобы практически достичь установившегося режима работы глаза. Для этого выборочно проводились опыты при различном времени адаптации. Было выяснено, что при длительности адаптации до 50÷60 с фотометрические установки существенно зависят от времени адаптации. При длительности адаптации 100 с и более получаемые установки практически остаются стабильными (в пределах точности эксперимента). Опыты проводились на одном наблюдателе и повторялись многократно (не менее 10 раз) в течение месяца в различное время суток. Повторяемость исхода опытов хорошая, разброс результатов (если исключить явные промахи), как правило, не превышал значения 0,1. Если же опыты выполнялись один за одним при одинаковых установках яркостей Y_0 , Y_1 , то разброс в установке яркости Y_2 , как правило, не выходил за пределы 0,03. Изменение цветности полей не внесло существенных изменений в результаты опыта.

Список литературы. 1. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Математическое моделирование некоторых функций человеческого зрения. Докт. дисс. К.: Ин-т кибернетики АН УССР, 1968. 273 с. 2. Мешков В.В. Основы светотехники. Часть вторая. Физиологическая оптика и колориметрия. М. Л.: Госэнергоиздат, 1961. 416 с.

Поступила в редколлегию 11.06.98

УДК 519.7

Д.О. КОЛЕСНИКОВ, С.Ю. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

ИНТРОСПЕКЦИЯ КАК ЭВРИСТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТА

О значении для теории интеллекта интроспекции и получаемых с ее помощью сведений о психофизических процессах и субъективных состояниях испытуемого говорилось в работе [1, с. 91]. Однако в процессе дальнейшего развития теории интеллекта в этой области обнаружены новые важные обстоятельства. Обсудим некоторые из них. По мере продвижения вглубь механизма интеллекта исследователь обнаруживает, что сложности формулировок постулатов, характеризующих физически наблюдаемое интеллектуальное поведение испытуемого, катастрофически растет. Если же эти постулаты записывать не в объективных, а в субъективных терминах тогда, как свидетельствует накопленный опыт, сложность формулировки постулатов непомерно не растет и всегда остается в приемлемых пределах.

Необходимость записи постулатов в субъективных терминах существенно усложняет работу исследователя. Как и прежде, он обязан на каждом шаге своей деятельности обеспечить безупречную объективность изучения интеллекта. Это означает, что все термины, используемые для формулировки очередного постулата, он должен однозначно выразить через понятия опирающиеся исключительно на сведения о поведении испытуемого, получаемые в объективном эксперименте. Связь этих терминов, задаваемая постулатом, должна подтверждаться физическими опытами. Но теперь исследователь относительно каждого вновь вводимого понятия и каждой связи дополнительно должен доказывать, что они согласуются также и с интроспективным свидетельством испытуемого. Чтобы этого достичь, испытуемый должен тщательно сличить все детали введенного объективного понятия с элементами своего субъективного состояния. Кроме того, он должен убедиться в том, что его субъективные состояния связаны друг с другом именно так, как этого требует формулировка постулата. Результат сличения будет удовлетворительным лишь в том случае, если испытуемый при максимуме внимания и старания не сможет обнаружить отличия между данными своего субъективного опыта и содержанием логической конструкции объективных понятий и составленного из них постулата.

Если же такого тщательного сличения объективного и субъективного не делать, то очень скоро, по мере продвижения вглубь механизма интеллекта, объективно вводимые понятия перестанут соответствовать субъективным состояниям испытуемого. Вследствие этого исследователь рано или поздно почувствует зыбкость почвы, на которой он строит здание теории

интеллекта, и утратит возможность опираться на субъективный опыт испытуемого при постановке новых задач исследования. Отказавшись от услуг логмана-интроспекции, исследователь потеряет ориентировку и утонет в сложности психики человека, не зная, в какую сторону двигаться дальше, чтобы обеспечить успех физического изучения интеллекта. Таким образом, интроспекция нужна для того, чтобы не заблудиться в лабиринте возможных постановок задач физического исследования интеллекта. Только немногие пути в этом лабиринте ведут к успеху, остальные - в тупики непреодолимой сложности формулировок свойств поведения испытуемого. Для преодоления этой сложности найден пока единственный прием - свертывание объективной формулировки постулатов в субъективную.

Хотелось бы получше узнать, что собой представляет интроспекция - этот уникальный источник сведений о субъективных состояниях, от которого столь сильно зависит успех исследований человеческого интеллекта. Кажется, что в механизме интроспекции есть что-то физически невозможное. С одной стороны, нельзя усомниться в том, что субъект действительно ощущает, чувствует, переживает. С другой - не удастся ясно представить принцип действия прибора, способного генерировать субъективные состояния. Очень трудно человеку поверить в то, что чувствовать может не только он сам, но также и система искусственного интеллекта. Столь же трудно ему представить наличие субъективных состояний у других людей. Однако нельзя не согласиться и с тем, что у каждого человека есть свой внутренний мир. Перед лицом этих трудностей и противоречий легко прийти к мысли, что чувствует не тело, а отличная от него душа. Но и это не помогает делу. Говорить так - значит просто откладывать объяснение феномена интроспекции: ведь всегда можно спросить - а как же тогда удастся чувствовать душе? Можно ответить: сверхъестественным образом. Но тот, кто так утверждает, просто уклоняется от объяснения факта наличия субъективных состояний у людей.

Нам представляется, что не следует относиться слишком серьезно к тем противоречиям (несомненно - мнимым), которые возникают при попытке проникнуть в структуру механизма интроспекции методом самонаблюдения, и делать из них выводы нигилистического или мистического характера. Многочисленные факты говорят о том, что сведения, доставляемые нашим внутренним зрением, будучи ложно истолкованы, часто ведут к ошибкам. Примерами этого могут служить разнообразные обманы чувств. Особенно же осторожно надо относиться к свидетельствам интроспекции о самой себе. Когда кажется, что показания наших чувств противоречат прочно установленным законам физики, следует решительно стать на сторону физики и считать, что такие показания нуждаются в более удачной интерпретации. Например, испытуемый помещает левую руку в

горячую воду, а правую - в холодную и держит их там несколько минут. Затем окунает обе руки в теплую воду. Теперь он ясно чувствует, что одна и та же вода и холодна (по показаниям левой руки) и горяча (по показаниям правой). Однако с физической точки зрения - это абсурд, поэтому при оценке температуры воды такие показания наших чувств мы просто игнорируем, вопреки их кажущейся очевидности и непреложности.

Но можно ли полагаться на интроспективные данные при формулировке задач теории интеллекта, если они нас обманывают? Мы полагаем, что можно, только делать это надо достаточно осторожно и осмотрительно, по принципу «доверяй, но проверяй». Взятые сами по себе, чувства никогда не лгут. Если под действием воды одной и той же температуры левой рукой я чувствую, что вода холодна, а правой - что она горяча, то этот факт моего сознания непреложен. Рассматриваемый вне связи с вызвавшим его внешним воздействием он не может противоречить каким бы то ни было физическим данным. Факт чувствования не может быть оспорен. Противоречие между объективным и субъективным появляется лишь тогда, когда человек пытается судить о воспринимаемом объекте по своему субъективному состоянию (в нашем примере - о температуре воды по ощущению тепла или холода). Но так ли уж непреодолимо это противоречие? Когда физик видит, что его термометры показывают различную температуру одного и того же тела, он не спешит объявлять о наличии неразрешимого противоречия или сверхъестественных эффектов. Быть может, термометры имеют просто разные шкалы. С подобной меркой можно подойти и к оценке разнобоя в показаниях температурных анализаторов человека.

Рассмотрим пример корректировки постановки одной из задач теории интеллекта с целью привести ее решение в соответствие с интроспективными данными. Речь идет о задаче изучения механизма цветового зрения человека, описанной в [1, с.109]. Испытуемый воспринимает два произвольно выбранных исследователем световых излучения на расположенных рядом небольших тест-полях. Он сличает цвета излучений и устанавливает их равенство или неравенство. Оказывается, что результат сличения цветов ни от каких побочных факторов не зависит. Не зависит он, в частности, и от фона, окружающего тест-поля. Убедившись в рефлексивности, симметричности, транзитивности, аддитивности, трехмерности и непрерывности предиката, реализуемого испытуемым, исследователь дедуктивно выводит из этих свойств-постулатов модель цветового зрения, т.е. конкретный вид преобразования излучения в его цвет (см. формулы (3.11) и табл. 3.5 в [1, с.114]).

Все сделано безупречно, и теперь, казалось бы, можно с помощью этого преобразования предсказать заранее, будут ли два произвольно взятые световые излучения восприниматься испытуемым в виде одинаковых цветов или нет вне зависимости от того, в каких условиях они ему предъявлены. Рекомендация теории проста: если физическая характеристика цветов совпадет (а

именно: должны совпасть две тройки чисел), то цвета будут одинаковыми, если же не совпадет, - значит, они должны оказаться различными. Однако существует простое интроспективное наблюдение, которое противоречит такого рода предсказаниям. Оно демонстрируется следующим «опровергающим экспериментом». Сформируем на небольшом тест-поле некоторое цветовое излучение и окружим его обширным синим фоном. Подберем спектр излучения таким, чтобы оно воспринималось испытуемым в виде серого цвета. Далее, сохраняя неизменным излучение тест-поля, заменим синий фон на желтый. Испытуемый видит, что цвет тест-поля после замены фона меняется, превращаясь из серого в голубой. (Читатель может легко убедиться в справедливости этого наблюдения.) Итак, данные интроспекции явно противоречат выводам физической теории, когда она утверждает, что цвет однозначно определяется вызвавшим его световым излучением.

Означает ли это, что физическая теория цвета ошибочна? Отнюдь нет. Ведь в ней под термином «цвет» понимается объективно определяемое понятие, а именно - класс всех световых излучений, равных по цвету в экспериментах со сравнением двух рядом расположенных полей, а это не совсем тот цвет, который мы субъективно переживаем. Если взять два световых излучения, равных по цвету на окруженных каким-либо фоном соседних полях, то при любой перемене фона цветовое равенство сохранится, но сами цвета могут меняться. Значит, субъективно переживаемый испытуемым цвет каждого тест-поля определяется не только породившим его излучением, но также и фоном, окружающим поля. Получается, что субъективный цвет излучения - это не класс всех метамерных излучений, а нечто такое, что при фиксированном фоне связано с ним взаимно-однозначной зависимостью, причем сама эта зависимость меняется с изменением фона. Итак, физическая теория цветов верна, но она отвечает не совсем на тот вопрос, который мотивирован данными интроспекции. Она ведет не совсем туда, куда указывает содержимое нашего внутреннего мира. То, что называется в колориметрии цветом, не всегда можно интерпретировать как психологическую реакцию испытуемого на световое излучение. Таким образом, колориметрическое понятие цвета не всегда согласуется с ощущением цвета. Объективное и субъективное в данном случае вступают в противоречие друг с другом, следовательно, постановка задачи о цвете нуждается в усовершенствовании, если целью является познание природы цвета как субъективного состояния человека.

Как же изменить формулировку задачи, чтобы ее решение давало не только описание поведения испытуемого при сравнении двух световых излучений по цвету, но также и описание преобразования светового излучения в его цвет, субъективно переживаемый испытуемым? Простейший ответ состоит в том, чтобы раз и навсегда зафиксировать фон, окружающий тест-

поля. Например, все опыты делать только на черном фоне. Тогда будет устранена причина (изменение фона), которая нарушает взаимно-однозначное соответствие между физическим и психологическим цветом. Такая постановка задачи выглядит не вполне естественной по физическим соображениям: незачем фиксировать фон, если он не влияет на результаты эксперимента. Неудовлетворительна она и по психологическим соображениям, так как не снимает выдвинутого ранее возражения: существует такая ситуация, при которой упомянутая выше модель цветового зрения дает результат, расходящийся с субъективным опытом испытуемого. Чтобы исправить положение, нужно фон включать в характеристику входного сигнала наряду со спектром предъявляемого излучения. Тогда опыты можно будет поставить таким образом, чтобы охватить ими и «опровергающий эксперимент».

Задача изучения цветового зрения человека формулируется следующим образом. Берем маленькое тест-поле (теперь уже не два соседних поля, а только одно), на котором испытуемому предъявляем произвольные световые излучения. Тест-поле окружено фоном, который заполняет всю остальную часть поля зрения. Фон может выбираться произвольно. Испытуемый в течение некоторого времени наблюдает на тест-поле цвет предъявленного излучения в присутствии заданного фона. Затем излучение на тест-поле и фон, его окружающий, произвольно меняются, и испытуемый наблюдает новый цвет на тест-поле, сравнивая его по памяти с исходным цветом. В случае равенства цветов испытуемый должен отреагировать положительным ответом, в случае неравенства - отрицательным. Ясно, что такие опыты включают в себя, как частный случай, и ранее рассмотренный «опровергающий эксперимент». Его мы получим, если для первого и второго предъявлений на тест-поле используем одно и то же излучение, фоны же должны быть взяты разными.

На основе этих опытов должна быть построена скорректированная модель цветового зрения человека в виде зависимости субъективного цвета x от порождающих его светового излучения X и фона Y . Обозначим зависимость колориметрического цвета x от излучения X , получаемую при решении задачи в исходной постановке, символом f , тогда $f(X)=x$. В новой постановке решение задачи будет иметь вид $\delta=g(f(X), Y)$. Здесь g - зависимость субъективного цвета x от колориметрического цвета $x=f(X)$ и фона Y . Мы использовали колориметрический цвет $f(X)$ вместо излучения X в роли первого аргумента функции g на том основании, что на любом фоне субъективный цвет x не меняется при замене излучения X на любое метамерное ему излучение. Об этом свидетельствует упоминавшийся ранее факт, что равенство колориметрических цветов сохраняется при любом изменении фона, окружающего тест-поля.

Приведенный выше пример корректировки одной из задач теории интеллекта наглядно демонстрирует, как под натиском интроспективных данных исследователь интеллекта вынужден расширять постановку ре-

шаемой им физической задачи. При фиксированном фоне колориметрическое решение задачи о цветовом зрении человека безупречно как с физической, так и с психологической точек зрения. Но как только ограничение на фиксацию фона снимается, психологические данные сразу же вступают в противоречие с колориметрической моделью цветового зрения. Чтобы это противоречие устранить, приходится сам фон включать в характеристику входного сигнала, предъявляемого испытуемому. При этом расширяется постановка исходной физической задачи. Важно отметить, что после решения задачи в новой, более широкой, постановке полученные ранее результаты не обесцениваются, поскольку старая модель вливается в новую, становясь ее частью. Нечто подобное происходит и в физике: при появлении более общей теории старая теория обычно не сходит со сцены, но используется в рамках, очерченных новой теорией. Итак, мы видим, что интроспекция снабжает исследователя ценной информацией, которую тот может использовать для прокладывания маршрута движения вглубь механизма интеллекта при его познании. Математические модели различных сторон механизма интеллекта человека строит и обосновывает физика. На вопрос же, какие именно стороны интеллекта надо изучать на данном этапе его исследования, ответ дает психология.

Создаваемые физикой теории относительноны в том смысле, что новые теории уточняют и обобщают уже имеющиеся теории. И нет ни одной такой физической теории, которая была бы застрахована от пересмотра. Видимо, подобное положение со временем возникнет и в теории интеллекта. Во всяком случае, уже сейчас ясно, что теория цветового зрения, учитывающая фон, может быть еще более обобщена. Об этом свидетельствует наличие таких интроспективных данных, которые вступают с ней в противоречие. Оказывается, что на субъективный цвет влияет не только фон, окружающий тест-поле, но и то, что видел испытуемый на тест-поле и вокруг него до момента предъявления светового стимула, порождающего этот цвет. Субъективный цвет несколько меняется также под действием звуковых, осязательных и других ощущений. Цвет можно изменить, надавливая на глазное яблоко, а также воздействуя на сетчатку глаза или на кору затылочных долей мозга испытуемого электрическим током. Так что перед исследователем открываются поистине неограниченные возможности для дальнейшего обобщения и усовершенствования модели цветового зрения. То же относится и к моделям любых других психофизических процессов.

Список литературы: 1. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. Х.: Вища шк., 1987. 159 с.

Поступила в редколлегию 05.10.98

УДК 519.8

А.О. ОВЕЗГЕЛЬДЫЕВ, К.Э. ПЕТРОВ, Э.Г. ПЕТРОВ

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ПОВЕДЕНИЕМ СОЦИАЛЬНОЙ ГРУППЫ

Под поведением индивидуума будем понимать выбор и реализацию некоторой альтернативы (решения) из допустимого множества [1].

Примем следующую математическую модель формирования поведения.

Пусть задано некоторое допустимое множество альтернативных поведений X . Каждое решение $x \in X$ имеет для индивидуума некую привлекательность (полезность) $P(x)$. Тогда индивидуум реализует такое поведение x^0 , для которого максимизируется функция индивидуальной полезности:

$$x^0 = \operatorname{arg\,max}_{x \in X} P(x). \quad (1)$$

В такой постановке задача управления поведением может быть интерпретирована как задача максимизации полезности (привлекательности) некоторой конкретной альтернативы $x \in X$.

В общем случае каждая альтернатива $x \in X$ характеризуется некоторым n -мерным набором разнородных характеристик (факторов). Для простоты, но без потери общности предположим, что все характеристики измерены в количественных шкалах, т. е. имеют численные значения. Такие количественные оценки отдельных характеристик назовем частными критериями (факторами) оценки качества (привлекательности) альтернативы x и обозначим $k_i(x)$, $i = \overline{1, n}$. Тогда функция полезности $P(x)$ представляет собой некоторую обобщенную оценку всех численных критериев:

$$P_j(x) = F_j[k_i(x)]. \quad (2)$$

В качестве такой обобщенной полезности чаще всего используют аддитивную функцию вида [2]

$$P(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i(x), \quad (3)$$

где λ_i - коэффициенты, приводящие к изоморфному виду различные по размерности и интервалу измерения частные характеристики (критерии) $k_i(x)$. Более удобной для использования и интерпретации является функция вида

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i p_i[k_i(x)], \quad (4)$$

где a_i - безразмерные коэффициенты относительной важности ($0 \leq a_i \leq 1, \sum_{i=1}^n a_i = 1$) частных характеристик; $p_i[k_i(x)]$ - изоморфная функция полезности частных критериев.

В качестве такой функции в дальнейшем будем использовать функции вида [3]:

$$p_i[k_i(x)] = \left[\frac{k_i(x) - k_{i \text{ нх}}}{k_{i \text{ нл}} - k_{i \text{ нх}}} \right]^{\alpha_i} \quad (5)$$

Здесь $k_{i \text{ нх}}, k_{i \text{ нл}}$ - соответственно наихудшее и наилучшее значение критерия $k_i(x)$ на всем множестве допустимых решений x .

Такая функция безразмерна, имеет ограниченный интервал измерения от 0 до 1, инвариантна к виду экстремума и позволяет реализовать как линейные, так и нелинейные зависимости частной полезности от значения критерия (при $\alpha_i = 1$ - линейная, $0 < \alpha_i < 1$ - выпуклая вверх, $\alpha_i > 1$ - выпуклая вниз зависимость).

Коэффициенты относительной важности a_i и коэффициенты нелинейности функции (5) α_i отражают предпочтения конкретного j -го индивидуума.

Тогда модель поведения j -го индивидуума имеет вид

$$x_j^0 = \arg \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n \left[a_{ij} \left(\frac{k_i(x) - k_{i \text{ нх}}}{k_{i \text{ нл}} - k_{i \text{ нх}}} \right)^{\alpha_{ij}} \right] \quad (6)$$

В основе концепции управления поведением однородной социальной группы лежит предположение, что для ее членов существует некоторое "рациональное" поведение. Это означает, что члены такой группы реализуют одинаковые поведения в сходных условиях. С формальной точки зрения все они имеют одинаковые или близкие по значению весовые коэффициенты (предпочтения) a_{ij} и параметры нелинейности α_{ij} . Обозначим усредненные по множеству индивидуумов однородной социальной группы значения весовые коэффициенты и параметры нелинейности как a_i^{cp} и α_i^{cp} . Тогда модель поведения социальной группы будет иметь вид

$$x^0 = \arg \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n \left[a_i^{cp} \left(\frac{k_i(x) - k_{i \text{ нх}}}{k_{i \text{ нл}} - k_{i \text{ нх}}} \right)^{\alpha_i^{cp}} \right] \quad (7)$$

Таким образом, модели управления индивидуумом и группой отличаются только значениями параметров a_j и α_j . Поэтому в дальнейшем не будем их различать и опустим индексы "j" и "ср". Следовательно, управление заключается в максимизации полезности желательной альтернативы.

В такой постановке управление поведением имеет два аспекта:

- управление предпочтениями (a_i и α_i);
- управление характеристиками, т. е. значениями $k_i(x)$ конкретной альтернативы.

Первый аспект связан в основном с информационным воздействием на человека или группу (реклама, агитация, средства массовой информации, популярная и специальная литература), направленным на изменение или коррекцию его предпочтений, таким образом, чтобы повысить привлекательность желаемой альтернативы без изменения ее объективных характеристик. В дальнейшем в этой статье информационный аспект управления не рассматривается. Это означает, что значения предпочтений a_i и α_i предполагаются неизменными и заданными в виде детерминированных количественных значений. В этом случае управление поведением возможно только путем изменения объективных характеристик альтернативы. Сформулируем такую задачу.

Пусть имеется некоторое количество моноресурса (например, денег) R . Предположим, что используя этот моноресурс, можно изменить (улучшить) значение любого из частных критериев альтернативы $k_i(x)$, при этом функциональная зависимость

$$\Delta k_i(x) = f_i(r_i) \quad (8)$$

известна. Здесь r_i - количество ресурсов, используемое для изменения критерия $k_i(x)$; f_i - оператор преобразования. Тогда функция полезности любого частного критерия для альтернативы x , в зависимости от r_i , будет иметь вид

$$p_i[k_i(x)] = \left[\frac{[k_i(x) + f_i(r_i)] - k_{i\text{нх}}}{k_{i\text{нл}} - k_{i\text{нх}}} \right]^{\alpha_i} \quad (9)$$

Так как значения $k_{i\text{нл}}$, $k_{i\text{нх}}$ для фиксированного множества решений X являются константами, введем обозначения: $k_{i\text{нх}} = b_i$; $k_{i\text{нл}} - k_{i\text{нх}} = c_i$. С учетом этого

$$p_i[k_i(x)] = \left[\frac{1}{c_i} (k_i^H(x) + f_i(r_i)) - \frac{1}{c_i} b_i \right]^{\alpha_i} = [A_i f_i(r_i) + B_i]^{\alpha_i}, \quad (10)$$

где $A_i = \frac{1}{c_i}$; $B_i = A_i [k_i^n(x) - b_i]$.

Здесь $k_i^n(x)$ - начальное (до управления) значение критерия. Подставляя (10) в (4), получаем

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i [A_i f_i(r_i) + B_i]^{p_i}. \quad (11)$$

Задача управления заключается в определении стратегии использования ресурса R , чтобы максимизировать привлекательность заданной альтернативы $x \in X$, т. е.

$$\sum_{i=1}^n a_i [A_i f_i(r_i) + B_i]^{\alpha_i} \rightarrow \max_{r_i \in R},$$

при условиях

$$r_i \leq r_i \max,$$

$$\sum_{i=1}^n r_i \leq R. \quad (12)$$

Обратная задача формируется следующим образом: определить минимальное количество ресурса R и стратегию его использования, для того чтобы обеспечить экстремальную привлекательность конкретной альтернативы $x \in X$ при фиксированном множестве X , т. е.

$$\sum_{i=1}^n r_i \rightarrow \min_{r_i},$$

при условиях

$$r_i \leq r_i \max,$$

$$P(x^0) \geq P(x), \forall x \in X. \quad (13)$$

Рассмотрим более подробно задачу (12).

Будем полагать, что зависимость (8) является гладкой, монотонной, неубывающей и может быть, в конкретных случаях, линейной или нелинейной, выпуклой вверх или вниз зависимостью. Аппроксимируем ее функцией вида

$$\Delta k_i(x) = (d_i r_i)^{\beta_i}. \quad (14)$$

При $\beta_i = 1$ зависимость линейная, при $\beta_i > 1$ - выпуклая вниз, при $0 < \beta_i < 1$ - выпуклая вверх.

С учетом (14) целевая функция (12) примет вид

$$\sum_{i=1}^n a_i \left[A_i (d_i r_i)^{\beta_i} + B_i \right]^{\alpha_i} \rightarrow \max_{r_i \in R},$$

$$r_i \leq r_{i \max},$$

$$\sum_{i=1}^n r_i \leq R.$$
(15)

Рассмотрим вычислительные аспекты решения задачи (15). Она относится к классу задач условной оптимизации. При этом возможны два случая.

1. Параметры $\alpha_i = 1$, $\beta_i = 1$, $\forall i = \overline{1, n}$. В этом случае (15) является задачей линейного программирования. Ее решение тривиально, так как по постановке задачи значения всех a_i предполагаются известными и все частные критерии на основе этой информации можно упорядочить в порядке убывания важности:

$$k_1 > k_2 > \dots > k_n (a_1 > a_2 > \dots > a_n).$$

Оптимальное решение заключается в выделении максимального требуемого ресурса $r_{i \max}$ на улучшение частных критериев в порядке убывания их

важности с учетом ограничения $\sum_{i=1}^n r_i \leq R$.

2. Хотя бы некоторые из параметров $\alpha_i \neq 1$, $\beta_i \neq 1$. В этом случае (15) является задачей нелинейного программирования. Ее решение, если значения a_i , A_i , B_i , d_i , α_i , β_i - заданы, не представляет принципиальных трудностей. Задача может быть решена методом динамического программирования [4] или одним из известных методов решения непрерывных задач нелинейной условной оптимизации, например, методом штрафных функций [5]. В полной мере это относится и к задаче (13).

Список литературы: 1. Петров Э.Г. Организационное управление городом и его подсистемами. Методы и алгоритмы. Х.: Вища шк., 1986. 176 с. 2. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 124 с. 3. Овезгельдыев А.О., Петров К.Э. Адаптивная математическая модель многофакторного оценивания // Кибернетика и системный анализ. 1997. №3 С. 90 - 97. 4. Беллман Р. Динамическое программирование. М. Изд-во иностр. лит., 1970. 400 с. 5. Моисеев Н.Н., Иванов Ю.П., Столярова Е.М. Метод оптимизации. М.: Наука, 1978. 352 с.

Поступила в редколлегию 12.30.95

Н.С. ЛЕСНАЯ, В.Б. РЕПКА, Т.Б. ШАМША

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ

Одним из важнейших показателей, характеризующих качество исходных данных, является чувствительность к оцениваемым параметрам. Чувствительность оценок параметров к наблюдаемому шуму или к возмущениям (помехам) влияет на точность оценок параметров при идентификации. Чувствительность (оценка параметра) к наблюдению извлекается для скалярной нелинейной дифференциальной системы. При проектировании оптимальных входных данных чувствительность переменной состояния к неизвестному параметру максимизируется. Идентификация системы связана с оцениванием неизвестных параметров из информации, полученной путем наблюдений. Для точных результатов чувствительность оценок параметров к шуму или возмущениям наблюдений должна быть малой.

Оценка чувствительности исходных данных.

Пусть объект оценивается выражением

$$\dot{x} = f(x, y, a, t), \quad x(0) = c, \quad (1)$$

неизвестный параметр a оценивается путем минимизации суммы

$$S = \sum_{i=1}^n [x(t_i, a) - b_i]^2, \quad (2)$$

где

$x(t)$ – скалярная переменная состояния;

$y(t)$ – функция управления или вход;

a – начальное условие (состояние);

c – наблюдаемое значение $x(t, a)$ в момент времени $t_i, i=1, 2, \dots, n$.

Желательно вычислить чувствительность оценки параметра a к наблюдению b_i . Для определения параметра b_i сумма в уравнении (2) минимизируется его дифференцированием и установлением результата, равного нулю:

$$S_a = \sum_{i=1}^n 2[x(t_i, a) - b_i]x_a(t_i) = 0 \quad (3)$$

Здесь x_a – получается путем дифференцирования уравнения (1) в отношении a :

$$x_a = \frac{d x}{d a} = f_x x_a + f_a, \quad x_a(0) = 0. \quad (4)$$

Теперь S_a – функция оценки параметра a и наблюдений b_i :

$$S_a = S_a(\hat{a}, b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (5)$$

$$\hat{a} = a(b_1, b_2, \dots, b_n). \quad (6)$$

Дифференцируя уравнение (3) в отношении b_i , получаем:

$$S_{aa} = \frac{d a}{d b_j} + S_{ab_j} = 0, \quad (7)$$

где

$$S_{aa} = \sum_{i=1}^n 2x_a^2(t_i, a) + \sum_{i=1}^n 2[x(b_i, a) - b_i]x_{aa}(t_i, a), \quad (8)$$

$$S_{ab_j} = -2x_a(t_j, a). \quad (9)$$

Решая уравнение (7) для чувствительности (оценки параметра) наблюдения, получаем

$$\frac{d a}{d b_j} = -\frac{S_{ab_j}}{S_{aa}} = \frac{x_a(t_j, a)}{\sum_{i=1}^n x_a^2(t_i, a) + \sum_{i=1}^n [x(t_i, a) - b_i]x_{aa}(t_i, a)}; \quad (10)$$

здесь x, x_a, x_{aa} – решения дифференциальных уравнений:

$$x = f(x, y, a, t), \quad x(0) = c, \quad (11)$$

$$x_a = f_x x_a + f_a, \quad x_a(0) = 0, \quad (12)$$

$$x_{aa} = f_{xa} x_a + f_x x_{aa} + f_{aa}, \quad x_{aa}(0) = 0. \quad (13)$$

Предположим, что $x(t_i, a)$ является близким к своему наблюдаемому значению b_i , так что второй член в знаменателе уравнения (10) является малым.

Тогда

$$\frac{d \hat{a}}{d b_j} = \frac{x_a(t_j, a)}{\sum_{i=1}^n x_a^2(t_i, a)}. \quad (14)$$

Уравнение (14) показывает, что увеличение чувствительности (переменная состояния)/(неизвестный параметр) $\dot{x}_a(t)$ уменьшает чувствитель-

ность (оценка параметра) наблюдения $\frac{d \hat{a}}{d b_i}$, которая должна быть малой,

чтобы минимизировать влияние шума или возмущений наблюдения на оценку параметра. При проектировании оптимальных входных данных для идентификации чувствительность (переменная состояния)/(неизвестный параметр) обычно максимизируется [1].

Уравнение (14) показывает, что чувствительность (оценка параметра) стремится к понижению, когда максимизируется $x_a(t)$. Для оптимальных входных данных переменная состояния и неизвестный параметр выбираются так, чтобы максимизировалась чувствительность переменной состояния $x(t, a)$ к параметру a [2]. Показателем характеристики является

$$M = \max_y \int_0^T x_a^2 dt,$$

подверженной ограничению энергии на входе

$$E = \int_0^T y^2 dt,$$

которое эквивалентно максимизации показателя рабочей характеристики

$$J = \max_y \int_0^T (x_a^2 - qy^2) dt,$$

где q – множитель Лагранжа постоянной.

В эксперименте истинное значение параметра, которое должно оцениваться, неизвестно, оптимальный вход должен будет определяться для исходной оценки a . Если требуется, то оптимальность можно пересчитать после того, как была получена улучшенная оценка неизвестного параметра путем идентификации [3].

Список литературы: 1. *Lindley D.V., Smith A. F. M. Bayes Estimates for the Linear Model // Journal of the Royal Statistical Society. Ser. B. 1992. Vol. 34. P. 1-18.* 2. *Marquardt D.W., Snee R.D. Ridge Regression in Practice. The American Statistician, 1995. Vol 29. P. 3-20.* 3. *Swindel B.F. Good Ridge Estimators Based on Prior Information. Communications in Statistics. A5. 1986. P. 1065-1075.*

Поступила в редколлегию 01.10.98

В.Е. ГУРЕВИЧ, Н.С. ЛЕСНАЯ, Е.В. МОКРЫЙ, Е.В. ПАРХОМЕНКО

НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПОДДЕРЖКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Практически на всех этапах дипломного проектирования студент сталкивается с рядом проблем и сложностей. Опишем круг причин, которые приводят к этому: отсутствие сведенных воедино правил, требований и стандартов оформления сопроводительной документации к программной системе, инсталляционной и демонстрационной версии системы и разработки пояснительной записки к дипломному проекту. В связи с этим актуальным является создание программного комплекса поддержки дипломного проектирования на всех этапах: от постановки задачи до демонстрационной версии системы и оформления пояснительной записки.

Перечислим главные принципы, заложенные в разработанную систему:

1. Дипломный проект создается в пошаговом режиме под управлением самой системы, моделирующей поведение консультанта-человека.

2. Вся информация о проделанных действиях сохраняется, т.е. текущее состояние документов, а также последовательность состояний системы можно восстановить.

3. Изменение начальных настроек дает возможность произвольно изменять модель взаимодействия системы с дипломником, что существенно расширяет область ее применения.

4. Любая операция производится с помощью как внутренних, так и внешних программных средств (все подсистемы работают с общепринятыми форматами данных - RTF, BMP, WMF; используется технология ActiveX).

5. Весь комплекс выполняется в виде отдельных функционально независимых модулей, связанных главной программой (менеджером).

6. В процессе проектирования представляемого программного комплекса разрабатывается новая технология взаимодействия составляющих подсистем, в результате в произвольный момент времени система занимает минимальный объем памяти компьютера, что выгодно отличает ее от аналогов (MS OFFICE и ряд других популярных программных пакетов)

7. Справочный материал содержит не только информацию о работе с системой, но и большой объем информации о правилах оформления дипломного проекта.

Подсистемы программного комплекса связаны между собой последовательностью входных данных и текущим сценарием работы. Программно связующим элементом является “менеджер”, непосредственно реализующий процедуры запуска, передачи параметров и сохранения общей для всего комплекса информации.

Подсистема формирования экономической части дипломного проекта («бизнес-плана») обеспечивает расчет его экономической части (включая создание таблиц и построение графика безубыточности), а также генерирует финальный отчет.

Автоматизированы все этапы разработки экономической части дипломного проекта: резюме, описание программного продукта, оценка рынка сбыта и конкуренции, стратегия маркетинга, оценка риска и страхования, финансовый план.

Разделы, входящие в бизнес-план, по форме реализации делятся на две основных категории: текстуальные и расчетные. Разделы первого типа формируются пользователем самостоятельно, однако подсистема в значительной степени облегчает этот процесс путем их стандартного наполнения. Для выполнения расчетных разделов бизнес-плана пользователю требуется ввести исходные данные в процессе диалога с подсистемой. По мере сбора информации происходит автоматический расчет всех необходимых значений, на их основе осуществляется многокритериальный анализ и принятие соответствующих решений (например, этап анализа конкурентоспособности программного продукта). Результаты представляются в максимально наглядной форме (табличной или графической).

Подсистема полностью ориентирована на пользователя. Она имеет удобный многооконный интерфейс, состоящий из инспектора проекта и системы разворачивающихся рабочих окон. Визуально структура бизнес-плана удачно представлена в виде дерева в инспекторе проекта. Реализована эффективная система методических указаний, с помощью которой пользователь всегда может получить подробные инструкции по любому из разделов экономической части дипломного проекта. Предусмотрена возможность сохранения и загрузки проекта на любой стадии разработки. Значения всех параметров, которые могут изменяться в процессе длительной эксплуатации системы (например, ставки налоговых отчислений), хранятся в файловом модуле инициализации и могут быть изменены при необходимости (в случае внесения соответствующих изменений в действующее законодательство).

Уникальным свойством подсистемы является ее логическая целостность, благодаря которой обеспечивается динамическая синхронизация и поддержка актуальности данных во всех разделах. Внесение изменений на любом из этапов влечет обновление информации во всем проекте.

По аналогичной технологии построена система формирования специальной части пояснительной записки к дипломному проекту по дисциплине "Охрана труда".

При разработке текстового редактора возникли вопросы, поставившие под сомнение целесообразность создания самостоятельной программы. После детального рассмотрения поставленной задачи было решено использовать все возможности текстового процессора фирмы Microsoft MS WORD, расширив их созданием дополнительной библиотеки функций.

Среда создания текстовой информации содержит два модуля. Модуль_1, являющийся частью представляемого программного комплекса, осуществляет подготовку информации для синтеза пояснительной записки из отчетов, созданных другими системами комплекса. На вход подаются файлы в формате RTF(Rich Text Format), содержащие помимо текста разработанные директивы объединения различных видов данных, и необходимая графическая информация. Модуль_2, встроенный в текстовый процессор Microsoft Word с помощью интегрированной среды разработки Visual Basic for Application, синтезирует пояснительную записку.

Обмен данными между модулями осуществляется через реестр ОС WINDOWS 95/98/NT.

Модуль согласования с действующими стандартами оформления документации взаимодействует непосредственно с конечным результатом работы всего программного комплекса и выполняет следующие функции:

1.Контроль наличия. В этом пункте программа осуществляет просмотр всех страниц документа и выделяет заголовки в специальную коллекцию. Впоследствии полученное множество приводится в соответствие с множеством, извлеченным из настроечного модуля. В случае несовпадения мощностей используемых множеств проводится детальный анализ документа, позволяющий однозначно идентифицировать некоторые строки документа как заголовки разделов.

2.Порядок следования. Работа данного пункта базируется на результатах работы пункта контроля наличия. Из настроечного модуля на вход системы подается обязательная последовательность пунктов (разделов) пояснительной записки. Путем синтаксического анализа обрабатываемого документа система получает вторую, реальную последовательность разделов документа. Сравнение двух последовательностей документа позволяет сделать выводы о порядке следования обязательных разделов.

3.Числовые характеристики. Целью данного пункта является контроль соответствия обязательного пункта "РЕФЕРАТ" пояснительной записки действующему положению ГОСТА, а именно: количество слов данного пункта пояснительной записки не должно превышать определенного значения, равного 500 (ДСТУ 3008-95).

4. Страницы и шрифты. В процессе своей работы этот пункт производит изменение в значениях параметров страниц рабочего документа, а также изменяет шрифт в соответствии с действующими положениями ГОСТА.

5. Строки и заголовки. Данный пункт позволяет отформатировать документ с полуторным значением межстрочного интервала и произвести контроль необходимых отступов от заголовков документа.

6. Контроль цвета. Целью работы пункта является изменение цвета текста данного документа на чёрный, аргументированный соответствующим положением ГОСТА.

7. Орфография и грамматика. Данный пункт выполняет запуск стандартных средств проверки орфографии и грамматики, входящих в пакет прикладных программ Microsoft Office версии 6.0 и выше.

8. Нумерация и печать. Настоящий пункт позволяет осуществить автонумерацию страниц документа с последующей его печатью. Для этого авторами была разработана функция нумерации, отличная от стандартного аналога Microsoft Word, которая базируется на результатах работы пункта контроля наличия. Ее цель – создать твердую копию документа со сквозной нумерацией, соответствующую положениям действующих нормативных документов.

Все числовые значения, использующиеся при работе данного блока, а также списки обязательных пунктов хранятся в настроечном файле. Сам модуль органично встроен в текстовый процессор MS WORD по описанной выше технологии.

Система управления базами данных ориентирована на непрофессионального пользователя и осуществляет функции работы с информацией (ввод, хранение, поиск) и доступа к отдельным частям дипломного проекта (реализована связь с функционально-независимой подсистемой ведения архивов).

Программа предназначена для ведения кафедральной архивной базы данных дипломных проектов. Предусмотрена возможность добавления, редактирования, удаления записей из базы данных, архивирование дипломных проектов, генерация новых таблиц в соответствии с введенными параметрами.

Логически система состоит из четырех частей: менеджера, системы ведения базы данных, непосредственно базы данных и подсистемы работы с архивами.

Менеджер является ключевым элементом системы, реализует управление другими частями и осуществляет связь между ними.

Система ведения базы данных реализует стандартный набор функций систем подобного класса (удаление, добавление, редактирование записей), а также сортировку информации в базе данных по произвольным полям. Главным техническим новшеством разработанной системы является функ-

ция универсального поиска по произвольному запросу, формируемому пользователем с помощью специального визуального редактора. При создании запроса используются стандартные логические операции (И, ИЛИ), а также операции $>$, $<$, $=$, $<=$, $>=$, $=$. Следует отметить что представляемая уникальная технология реализована для использования практически любой базы данных.

Кроме того, реализован поиск по ключевым словам, позволяющий быстро получить доступ к искомой пояснительной записке(запискам) по указываемой в соответствующем поле базы данных информации.

Подсистема работы с архивами позволяет создавать типизированные архивы дипломных проектов, добавлять и удалять из них информацию, а также получать доступ к произвольной части любого дипломного проекта из архива в любой момент времени.

Подсистема ведения кафедрального архива дипломных проектов предназначена для работы в комплексе с базой данных дипломных проектов и выполнена в виде отдельного функционально независимого модуля. Программа позволяет создавать и изменять архивы дипломных проектов, а также извлекать из них необходимую пользователю информацию. Внутренняя структура архивов соответствует ДСТУ-3008-95. Архивы дипломных проектов создаются в широко распространенном формате ZIP. Администратор кафедральной базы данных имеет возможность закрыть произвольные архивы паролем. Внутри подсистемы реализована универсальная процедура просмотра и анализа входной информации, позволяющая проводить корректную работу с архивами. Программа максимально реализует возможности операционной системы Windows-95: построенный визуальный интерфейс ориентирован на упрощение работы пользователя с подсистемой, весь обмен информацией между пользователем и программой ведется в диалоговом режиме, при создании архива пользователь взаимодействует с подсистемой с помощью многостраничного диалога, в программу внедрена технология «Drag & Drop», позволяющая ускорить обмен информацией между программой и операционной системой. В подсистеме имеется функция рекурсивного чтения файлов из дерева каталогов и добавления их в архив диплома, что ускоряет и упрощает создание архива. Реализована возможность визуальной установки степени сжатия, позволяющая выбрать оптимальную комбинацию степени и скорости сжатия, а также максимально ускорять извлечение информации из архива

В настоящий момент программный комплекс поддержки дипломного проектирования успешно прошел первичное тестирование и готовится для использования на кафедре ПО ЭВМ ХТУРЭ. Сравнение результатов работы созданного авторами программного комплекса с аналогами продемон-

стрировало его высокую конкурентоспособность и возможность использования при оформлении результатов научных исследований.

Список литературы: 1. *Гуревич В.Е., Мокрый Е.В.* Использование средств мультимедиа при создании обучающих систем. Тез. докл.: 1-й Международный молодежный форум «Электроника и молодежь в XXI веке», (22-24 апреля 1997 г.), Харьков, 1997. 2. *Гуревич В.Е., Лесная Н.С., Мокрый Е.В.* Принципы разработки программного комплекса поддержки дипломного проектирования. друк.: Международная научно-техническая конференция MicroCAD-98, (15-20 мая 1998 г.), Харьков, 1998.

Поступила в редколлегию 16.10.98

Ф.Г. ДЯГИЛЕВА, Е.Г. КАЧКО, Л.Д. МОЛОЧНЫЙ, А.В. СВИНАРЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «РУЧНЫХ» МЕТОДОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ В АРИФМЕТИКЕ МНОГОКРАТНОЙ ТОЧНОСТИ

Ненадежность систем защиты приводит в настоящее время к огромным потерям. Только в банковской сфере эти потери по заниженным оценкам составляют миллиарды долларов в год. Поэтому повышение надежности является очень актуальной задачей.

Общепринятой во всем мире считается методика применения стандартных алгоритмов для криптографических преобразований. Это связано с необходимостью всестороннего исследования метода на криптографическую стойкость, которое может быть проведено специалистами в различных областях. Стандартные криптографические методы известны не только пользователям систем защиты, но и потенциальным взломщикам системы. «Хранителем секрета» в данном случае являются конфиденциальные ключевые данные, которые должны быть надежно защищены от хищения.

Возможности современных вычислительных средств и комбинация их со специализированными аппаратными средствами позволяют легко перебрать все возможные ключи, если их количество недостаточно велико. В зависимости от применяемого алгоритма длина ключевых данных должна быть различна. В настоящее время повсеместно используются ключевые данные длиной 512 бит, для систем с повышенной безопасностью требуются ключи длиной 1024, 2048 и более бит. Ключевые данные рассматриваются как целые числа большой длины. Их обычно называют числами многократной точности. Эта статья посвящена исследованию методов работы с такими ключевыми данными на основании опыта вычислений человека для многозначных чисел.

Исследование основных стандартов криптографических преобразований показало, что требуется выполнять следующие операции для чисел многократной точности: сложение, вычитание, умножение, деление, вычисление остатка от деления (модуля числа), вычисление степени по модулю, сдвиги и другие операции. Основной проблемой при реализации методов является вычислительная сложность операций. Рассмотрим методы уменьшения вычислительной сложности, полученные из анализа «ручных» методов вычислений.

При сложении и вычитании используются принципы выполнения этих операций в столбик.

Пусть заданы два числа:

$X (x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0)$,

$Y (y_{m-1}, y_{m-2}, \dots, y_1, y_0)$,

где $x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0$ и $y_{m-1}, y_{m-2}, \dots, y_1, y_0$ – цифры числа.

Для 32-битного процессора принимаем в качестве цифры число длиной 32 бита, для 64-битного - 64 бита и т.д.

Пусть необходимо вычислить $Z = X + Y$, т.е. найти $z_i (i=0, 1, 2, \dots, \max(n, m))$.

Алгоритм вычисления может быть таким:

Перенос = 0;

Если $(n > m)$ {

Для всех цифр числа Y

$z_i = x_i + y_i + \text{перенос};$

Для всех оставшихся цифр числа X

$z_i = x_i + \text{перенос};$

$z_n = \text{перенос};$

}

иначе{

Для всех цифр числа X

$z_i = x_i + y_i + \text{перенос};$

Для всех оставшихся цифр числа Y

$z_i = y_i + \text{перенос};$

$z_n = \text{перенос};$

}

При вычислении в столбик мы просто записываем первым более длинное, а вторым - более короткое число и далее алгоритм, одинаковый независимо от соотношения длин. Таким образом, алгоритм вычисления с учетом этого замечания имеет вид:

Если $(n > m)$ {

first = X ; second = Y ;

}

иначе{

first = Y ; second = X ;

}

Перенос = 0;

Для всех цифр числа Second

$z_i = \text{Second}_i + \text{First}_i + \text{перенос};$

Для всех оставшихся цифр числа First

$$z_i = \text{First}_i + \text{перенос};$$

$$z_n = \text{перенос}.$$

В процессе реализации необходимо обратить внимание, чтобы при равенстве длин перехода не требовалось, так как этот переход вне цикла, он приводит к сбросу конвейера, а вероятность использования слагаемых одинаковой длины велика.

Аналогичные рассуждения можно привести в отношении операции вычитания.

Особое внимание необходимо обратить на операцию умножения, которая часто используется как самостоятельная, а также входит в состав операции возведения в степень. Для иллюстрации особого положения операций умножения и модульного возведения в степень приведем информацию для основных стандартов несимметричных криптопреобразований.

В табл. 1 представлены различные криптографические алгоритмы и используемые в них операции над числами многократной точности. Как следует из табл. 1, большинство криптографических методов требуют выполнения нескольких операций умножения и возведения в степень.

Таблица 1

Криптографический алгоритм	Используемые формулы	Количество операций	
		Умножение	Возведение в степень
DSS	$Z_2 = (Q-R) \cdot V \pmod{Q}$ $\frac{p-1}{h^q} \pmod{p > 1}$	1	
RSA - цифровая подпись и несимметричное шифрование	$ЦП = (МП)^{E_k} \pmod{N_j}$ $E_n \cdot D_n = 1 \pmod{F(N_j)}$	1	1
ГОСТ - Р 34.310-95	$U = (a_i^{Z_1} \cdot Y_c^{Z_2}) \pmod{p_j} \pmod{q_v}$ $p_n > 2^{tm}$	2	3
Эль-Гамаль - цифровая подпись	$a_i^{q_v} \pmod{P_j} \equiv 1$	0	1

При перемножении чисел в столбик используется такой алгоритм:

Для всех чисел первого сомножителя{
 Перенос = 0;
 Для всех чисел второго сомножителя{
 $z_{i+j} +=$ Младшей цифре ($x_i * y_j +$ Перенос);
 Перенос = Старшей цифре ($x_i * y_j +$ Перенос);
 }
 $z_{i+j} =$ Перенос;
 }

Из предложенного алгоритма следует, что при прочих равных условиях желательно выбирать первый сомножитель короче второго.

Кроме алгоритма вычисления в столбик, используют алгоритм вычисления очередной цифры за один просмотр цифр сомножителя по следующему алгоритму:

Перенос = 0;
 Для всех цифр произведения кроме старшей{
 $z_k =$ Перенос + Младшая цифра ($\sum_{k=i+j} x_i * y_j$);
 Перенос = Старшая цифра ($\sum_{k=i+j} x_i * y_j$);
 }
 Старшая цифра произведения = Перенос;

Реализованы оба алгоритма умножения для сомножителей с разными длинами. В табл. 2 приведены временные характеристики для обеих реализаций для PENTIUM-100 при 1000000 повторений операции умножения.

Таблица 2

Длина сомножителей, бит	256	512	1024
Время выполнения первой функции, с	28	60	190
Время выполнения второй функции, с	13	45	180

Таким образом, второй алгоритм более эффективный, правда, с увеличением длины сомножителей временные характеристики для обоих методов сближаются.

Операция возведения в степень требует возведения в квадрат, поэтому рассмотрим возможности ускорения выполнения этой операции отдельно

При вычислении квадрата числа рекомендуется использовать формулу сокращенного умножения, когда вычисляются квадраты диагональных элементов и удвоенные произведения элементов с неравными индексами. В этом случае число операций умножения вместо n^2 для обычного умножения равно $2n + 1$ для возведения в степень (умножение на 2 выполняется с помощью операции сдвига).

При реализации деления учитывается алгоритм вычисления в столбик. Непосредственная проверка показывает, что вероятность ошибки при определении цифры частного уменьшается, если старшая цифра делителя не меньше, чем $b/2$, где b - основание системы счисления. Для уменьшения вероятности ошибки делитель и делимое умножается на коэффициент, определяемый по формуле $\lfloor (b-1)/y_{n-1} \rfloor$. После выполнения операции деления частное получаем верное, остаток должен быть откорректирован с учетом коэффициента масштабирования. После выбора претендента на очередную цифру делителя при ручном делении выполняется ее проверка. Для ускорения проверки выполняется ее умножение на одну (две, три) старшие цифры делителя и при необходимости цифра корректируется. Аналогичная проверка выполняется при реализации данного метода. Несмотря на рассмотренные способы ускорения вычисления частного и остатка, операция деления остается вычислительно сложной, это заставляет искать дополнительные методы для вычисления остатка от деления.

Один из методов вычисления остатка состоит в последовательном сдвиге делителя:

```

k = длина делимого - длина делителя (в битах);
Сдвиг делителя на k битов влево;
Если (делитель > делимого) сдвиг делителя на 1 бит вправо;
Выполнить k раз{
    Делимое -= делитель;
    Сдвиг делителя на 1 бит вправо;
}
    
```

Рассмотрим операцию модульного возведения в степень. Можно показать, что $x^y \bmod z = (\dots(((x)*x \bmod z) * x \bmod z)\dots)*x \bmod z$, т.е. на каждом шаге необходимо вычисление модуля или работа с очень длинными числами при умножении. При вычислении степени «в лоб» требуется выполнение y операций модульного умножения (y - очень большое число!).

Как правило, для вычисления степени используется двоичный метод¹, который требует $n + m - 1$ операций, где n - количество значащих бит в показателе степени, а m - количество единичных бит, из них $n - 1$ операция вычисления квадрата вместо обычного умножения. Развитием двоичного метода является блочный метод, который требует выполнения вместо m операций умножения только m/k , где k - размер блока в битах, но требуются предварительные вычисления.

Анализ криптографических алгоритмов показывает, что при операции возведения в степень используются такие варианты:

основание и модуль остаются постоянным, а показатель степени меняется (например, в вычислении цифровой подписи по Р34.310-95);

показатель и модуль остаются постоянными, а основание степени меняется (например, в вычислении цифровой подписи или шифровании по RSA).

В данной работе рассмотрена практическая реализация операции для первого варианта, для которого использование блочного метода более эффективно, чем для общего случая, так как предварительные вычисления должны быть выполнены только один раз и использоваться для всех сообщений. Рассмотрим дополнительные методы вычислений для первого варианта. Пусть необходимо вычислить $X^Y \bmod P$. Представим показатель степени в виде: $Y (y_{n-1}b^{n-1} + y_{n-2}b^{n-2} + \dots + y_1b + y_0)$, где b - основание системы счисления. Вычислим предварительно $r_{n-1} = X^{b^{n-1}}$, $r_{n-2} = X^{b^{n-2}}$, ..., $r_1 = X^b$, $r_0 = X$. В этом случае алгоритм вычисления степени имеет вид:

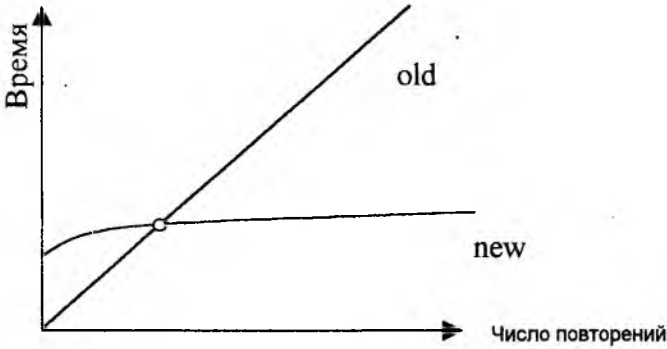
```

Произведение = Сомножитель = 1;
for (k=b-1; k>0; k--){
    for (i=n-1; i>=0; i--){
        if (y_i == k) Сомножитель *= r_i
    }
    Произведение *= Сомножитель;
}
    
```

В данном случае потребуется $n+1$ умножение, если все «цифры» в системе счисления b показателя степени одинаковы, и $2n$ операций, если нет совпадающих цифр.

¹ Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ/ Пер. с англ. М.: Мир, 1977. Т.2. Получисловые алгоритмы. 482 с.

Был реализован предложенный метод для различных оснований системы счисления. На рисунке представлены качественные результаты сравнения двоичного метода и последнего алгоритма вычисления степени.



Зависимость времени выполнения функций возведения в степень
от числа повторов

До начала возведения в степень двоичный метод (old) не требует предварительных вычислений, поэтому соответствующая ему прямая начинается с начала координат, второй метод требует вычисления степеней, что отражено на рисунке для кривой, соответствующей второму методу (new). При некотором числе повторов операции возведения в степень, зависящем от длины основания и показателя; требуется одинаковое время для вычислений по обоим методам (точка пересечения линий). Для 512-битных элементов операции точке пересечения соответствует 8 повторов. При увеличении числа повторов время для первого метода возрастает линейно, для второго — мало зависит от числа повторов.

Поступила в редколлегию 30.09.98

Е. А. СОЛОВЬЕВА

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ КЛАССИФИКАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ ПРОБЛЕМНЫХ ОБЛАСТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТА ТЕОРИИ КАТЕГОРИЙ

Опыт эксплуатации действующих интеллектуальных компьютерных систем (ИКС) свидетельствует о том, что на сегодняшний день «возможности систем уступают способностям людей, особенно при решении сложных или необычных проблем хотя бы даже и в узкой предметной области» [1, с.17]. Главной причиной специалисты называют тот факт, что «структура знаний человека качественно отличается от организации имеющихся баз знаний» [1, с.17]. При этом зарубежные специалисты считают необходимым при разработке систем искусственного интеллекта (ИИ) соблюдать условия, при которых «знания, заложенные в систему ИИ, должны быть понятны человеку» [2, с.15]. Несоблюдение этих условий приводит к тому, что результаты внедрения систем ИИ часто не соответствуют обещаниям и надеждам, а «в сфере технического производства избегают разработок, связанных с ИИ» [2, с.15].

Данная практическая проблема отмечается многими учеными: «Едва ли есть основания ожидать кардинального улучшения технических характеристик интеллектуальных систем, если принципы, заложенные в их основу, не будут соответствовать в том или ином смысле принципам организации интеллектуальной деятельности человека» [3, с.4].

Наиболее серьезными научными проблемами при создании ИКС считаются проблемы, связанные с представлением, моделированием и приобретением знаний. «Создание общей теории или метода представления знаний является стратегической проблемой. Такая теория открыла бы возможность накопления знаний, которые нужны нам ежедневно для решения все новых и новых задач. Однако для достижения поставленной цели необходимо прежде всего найти способ выражения общих закономерностей нашего мира, в чем и состоит суть проблемы представления знаний» [4, с.25].

Средством представления «общих закономерностей нашего мира» в ИКС и, таким образом, представления знаний является создание концептуальных моделей проблемных областей (ПО). Адекватность этих моделей в значительной степени зависит от методологии их построения. Качество и эффективность этой методологии определяется возможностью ее применения к проблемным областям произвольной природы, в том числе для построения картины мира в целом и описания структуры системы понятийных знаний.

Концептуальной моделью ПО называется классификация понятий, используемых для описания данной ПО [5], по крайней мере, концептуальная модель включает классификацию. Классификация должна основываться, в первую очередь, на содержательных признаках, являться отражением существенных отношений [6], опираться на абстрактное, из которого развертываются особенности и богатые образы конкретного, а не «на игру произвола, которому предоставлено решать, какую часть или сторону конкретного он намерен фиксировать, чтобы сообразно с этим строить свою классификацию» [7, с. 168]. Классификация «предполагает сложный системный анализ, заставляет искать содержательные признаки, привлекая тем самым исследователей к новым свойствам и закономерностям классифицируемых объектов, которые на эмпирическом уровне не казались явными» [6, с. 39].

Именно сущностный подход к классификации позволяет рассматривать ее как качественно своеобразный тип моделирования. Сущностные свойства объектов рассматриваются в особой классификации – естественной, которая, по словам А. А. Любищева, представляет собой «отражение системности, существующей в самих природных объектах» [8, с. 75]. Естественная классификация, в отличие от многоаспектной, носит онтологический характер, приближает нас к объективному отражению картины мира, единственна для любой проблемной области. По мнению ученых она может служить базой любой фундаментальной науки и тем более необходима для построения эффективных баз знаний и ИКС. Следует отметить, что на практике обычно приходится иметь дело с большим или меньшим приближением к естественной классификации, поэтому разработка ее критериев и их формальное описание особенно важны.

Неоднократно отмечавшиеся важность математического описания классификационных моделей [9] и необходимость разработки естественной классификации [10] делают актуальной проблему математического моделирования структуры классификации, удовлетворяющей критериям естественности. Основные критерии естественной классификации, сформулированные содержательно в результате системологического исследования системы понятий, отражающей системность реальной действительности (предметной области), предложены в [11], основные метазаконмерности структуры системы понятий – в [12, 13]. Представленные в данной работе результаты получены на основе развиваемого системологического подхода [14 – 16], соответствуют закономерностям когнитивных структур человека [17, 18], способных отразить естественную классификацию.

В качестве содержательной основы формального описания классификации будем рассматривать разработанный ранее вариант описания системы понятий в виде графа, удовлетворяющий предложенным в [11] критериям

естественности. За исходные примем определенные специфические свойства естественной классификации, обоснованные в [11 – 13, 17, 19]. Во-первых, она должна иметь иерархическую структуру родо-видовых отношений, что соответствует критерию иерархичности. Во-вторых, должна иметь единственную вершину, соответствующую понятию, в котором отражается предельно широкий класс явлений, т. е. удовлетворять критерию монизма. И, наконец, в-третьих, предельно широкий класс (универсум или категория бытие) должен иметь подклассы, соответствующие понятиям *объект (вещь)* и *свойство*. Последнее требование обусловлено необходимостью учитывать в единой классификационной структуре как все объекты (системы) реальной действительности (проблемной области), так и их свойства. Кроме того, оно придает разрабатываемому варианту описания классификации требуемому математиками-классификаторами параметрическую форму [20].

В ходе исследований установлено, что для математического моделирования естественной классификации необходимо применить аппарат теории категорий, абстрактный и универсальный характер которого соответствует особенностям данной классификации как объекта моделирования.

На первом этапе целесообразно описать на языке теории категорий структуру видов предельно широкого класса, т. е. родо-видовых отношений между надсистемой бытие и системой вещь, надсистемой бытие и системой свойство, а также структуру видов и всех подвидов системы-класса вещь. Построенную таким образом категорию будем называть категорией *A*.

На втором этапе целесообразно описать в виде категории структуру видов и всех подвидов системы-класса свойство, которая осталась неучтенной на первом этапе. Данную категорию будем называть категорией *B*. Это описание может быть осуществлено путем построения на основании категории *A* промежуточной категории, описывающей структуру

→

связей морфизмов объектов первой категории (категории *A*). Полученная структура связей позволяет перейти к описанию структуры свойств (категории *B*) систем, соответствующих объектам категории *A*. Возможность этого перехода обусловлена тем, что между свойствами систем и их связями существует взаимно-однозначное соответствие, так как «свойство объекта можно определить как его внутреннюю способность поддерживать (при определенных условиях) связи одних видов и препятствовать осуществлению связей других видов» [21, с. 41]. Необходимость же такого перехода обусловлена тем, что системологический анализ природы свойства и связи исключает отождествление этих понятий [21]. Затем аналогично можно строить категорию, описывающую структуру связей предыдущей категории *B*, и так далее.

На следующем этапе необходимо объединить построенные категории (*A*, *B*, ... и т.д.) в одну, моделируя таким образом структуру естественной

классификации (системы понятий, отражающей существенные свойства систем произвольной предметной области).

Рассмотрим категорию A . Класс ObA объектов категории A является конечным множеством с разбиением: $ObA = \bigcup_{i=0}^n A_i$, где $A_i = \{a_m^i\}_{m=1}^{k_i}$ — множество объектов, соответствующих системам-классам i -го уровня иерархии (k_i — число элементов множества A_i ; $k_0 = 1$, т. е. на нулевом (верхнем) уровне иерархии находится только один объект a_1^0 (система-класс бытие), $k_1 = 2$, т. е. на первом уровне иерархии находятся только два объекта a_1^1 и a_2^1 (две системы-класса вещь и свойство); $k_2 \geq 2$ и $k_{i+1} \geq 2k_i$ ($i = \overline{2, n-1}$)).

Класс $Mor A$ морфизмов категории A может быть описан следующим образом.

Для двух элементов $a_{m_1}^i, a_{m_2}^i$ подмножества A_i ($i = \overline{1, n}$):

$$Mor_A(a_{m_1}^i, a_{m_2}^i) = \begin{cases} \emptyset & \text{при } m_1 \neq m_2, \\ \{1_{a_{m_1}^i}\} & \text{при } m_1 = m_2, \end{cases}$$

где $1_{a_{m_1}^i}$ — единичный морфизм объекта $a_{m_1}^i$.

Это означает, что в рассматриваемой классификационной структуре существуют только родо-видовые связи систем-классов и не существует связей между ними на одном уровне иерархии.

Для любой пары (a_s^{i+1}, a_r^i) : $Mor_A(a_s^{i+1}, a_r^i) = \emptyset$, где $i = \overline{0, n-1}$, $r = \overline{1, k_i}$, $s = \overline{1, k_{i+1}}$. Для любого элемента $a_r^i \in A_i$ ($i = \overline{1, n}$):

$$Mor_A(a_s^{i-1}, a_r^i) = \begin{cases} \{a_{s,r}^{i-1,i}\} & \text{при } s = s_r, \\ \emptyset & \text{при } s \neq s_r. \end{cases}$$

Это означает, что родо-видовые связи систем-классов рассматриваются как связи верхнего уровня иерархии с нижним, т. е. как связи систем со своими подсистемами, с учетом того, что в естественной классификации любая система-класс имеет единственную надсистему-класс (у данного вида один род).

Для элемента a_1^0 подмножества A_0 : $Mor_A(a_1^0, a_1^0) = \{ 1_{a_1^0}, \alpha_{1,1}^{0,0} \}$,

где $1_{a_1^0}$ – единичный морфизм объекта a_1^0 .

Это означает, что система-класс бытие является предельно широкой надсистемой.

Для любой пары (a_2^i, a_r^i) : $Mor_A(a_2^i, a_r^i) = \emptyset$, где $i = \overline{2, n}$, $r = \overline{1, k_i}$.

Это означает, что система-класс свойство в рассматриваемой категории связана только с надсистемой-классом бытие как ее вид.

Кроме того, $Mor A$ включает в себя морфизмы, являющиеся произведениями описанных морфизмов. Они соответствуют связям родовой системы-класса со своими все более глубокими подсистемами (вида – со своими все более отдаленными родами).

Рассмотрим построение категории B , описывающей структуру свойств систем-классов, соответствующих объектам категории A .

Для этого исследуем подкатеорию \vec{A} категории морфизмов над категорией A . Объектами данной подкатегории являются морфизмы категории A , принадлежащие парам объектов соседних уровней [22].

Морфизмы категории A как связи между ее объектами описывают родо-видовые связи между соответствующими системами-классами. По построению категории A , любому объекту любого уровня соответствует единственный морфизм и единственный объект верхнего уровня, связанный с этим объектом посредством данного морфизма:

$$a_{s_r}^{i-1} \in A_{i-1} \leftrightarrow A_i \ni a_r^i; \alpha_{s_r, r}^{i-1, i} \leftrightarrow a_r^i \in Mor_A(a_{s_r}^{i-1}, a_r^i), \text{ где } i = \overline{1, n}.$$

Для объекта $a_1^0 \in A_0$ таким морфизмом является его единичный морфизм $1_{a_1^0}$, который далее будем обозначать $\alpha_{1,1}^{0,0} = 1_{a_1^0}$, обеспечивая, таким образом, единство формального описания.

Так как между множеством морфизмов, принадлежащих парам объектов соседних уровней, и множеством объектов, являющихся концами этих морфизмов, существует взаимно-однозначное соответствие, то объекты

категории \vec{A} можно описать следующим образом. $Ob \vec{A} = \bigcup_{i=0}^n \vec{A}_i$, где

$\vec{A}_i = \{ \alpha_{s_m, m}^{i-1, i} \}_{m=1}^{k_i}$ – множество объектов, соответствующих связям систем-классов, которые, в свою очередь, соответствуют объектам категории A i -го уровня иерархии ($i = \overline{1, n}$), а $A_0 = \{ \alpha_{1,1}^{0,0} \}$ – множество, содержащее объ-

ект, соответствующий связи предельно широкой системы-класса (*бытие*) с ней самой. В частности, объект $\alpha_{1,1}^{0,1}$ соответствует связи системы-класса бытие с системой-классом *вещь*, объект $\alpha_{1,2}^{0,1}$ – связи системы-класса бытие с системой-классом *свойство*.

Исследуем класс $Mor \xrightarrow{A}$ морфизмов категории \xrightarrow{A} . Выясним, какой вид имеет множество морфизмов из $\alpha_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i}$ в $\alpha_{s_{m_2}, m_2}^{i-1, i}$ подмножества $\xrightarrow{A_i}$ ($i = \overline{1, n}$). По правилу построения категории морфизмов над категорией A [22] морфизмом объекта $\alpha_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i} : a_{s_{m_1}}^{i-1} \rightarrow a_{m_1}^i$ в объект $\alpha_{s_{m_2}, m_2}^{i-1, i} : a_{s_{m_2}}^{i-1} \rightarrow a_{m_2}^i$ является любая пара морфизмов (φ, ψ) категории A , где $\varphi : a_{s_{m_1}}^{i-1} \rightarrow a_{s_{m_2}}^{i-1}$ и $\psi : a_{m_1}^i \rightarrow a_{m_2}^i$, при которой диаграмма, изображенная на рисунке, коммутативна.

$$\begin{array}{ccc}
 a_{s_{m_1}}^{i-1} & \xrightarrow{\alpha_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i}} & a_{m_1}^i \\
 \varphi \downarrow & & \downarrow \psi \\
 a_{s_{m_2}}^{i-1} & \xrightarrow{\alpha_{s_{m_2}, m_2}^{i-1, i}} & a_{m_2}^i
 \end{array}$$

Но при $m_1 \neq m_2$ $Mor_A(a_{m_1}^i, a_{m_2}^i) = \emptyset$. Поэтому искомое множество морфизмов имеет вид:

$$Mor_A(\alpha_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i}, \alpha_{s_{m_2}, m_2}^{i-1, i}) = \begin{cases} \emptyset & \text{при } m_1 \neq m_2, \\ \left\{ \left(1_{a_{s_{m_1}}^{i-1}}, 1_{a_{m_1}^i} \right) \right\} & \text{при } m_1 = m_2, \end{cases}$$

$$\text{где } \left(1_{a_{s_{m_1}}^{i-1}}, 1_{a_{m_1}^i} \right) = 1_{\alpha_{s_{m_1}, m_1}^{i-1, i}}.$$

Рассуждая аналогично предыдущему, получаем:

$$\text{Mor}_A(\alpha_{s_q,q}^{i,i+1}, \alpha_{s_p,p}^{i-1,i}) = \emptyset; \quad \text{Mor}_A(\alpha_{s_p,p}^{i-1,i}, \alpha_{1,1}^{0,0}) = \emptyset;$$

$$\text{Mor}_A(\alpha_{r_s,s}^{i-2,i-1}, \alpha_{s_p,p}^{i-1,i}) = \begin{cases} \emptyset & \text{при } r_s \neq r_{s_p} \text{ и } s \neq s_p, \\ \left\{ \left(\alpha_{r_s,p,s_p}^{i-2,i-1}, \alpha_{s_p,p}^{i-1,i} \right) \right\} & ; \\ \emptyset & \text{при } r_s = r_{s_p} \text{ и } s = s_p. \end{cases}$$

$$\text{Mor}_A(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,1}) = \left\{ \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,1} \right) \right\} \quad \text{и} \quad \text{Mor}_A(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,2}^{0,1}) = \left\{ \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,2}^{0,1} \right) \right\};$$

$$\text{Mor}_A(\alpha_{1,i}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0}) = \left\{ \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0} \right) \right\}, \quad \text{где} \quad \left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0} \right) = 1_{\alpha_{1,1}^{0,0}}.$$

Аналогично исследуется множество $\text{Mor}_A(\alpha_{r_s,r}^{j-1,j}, \alpha_{s_p,p}^{i-1,i})$.

Таким образом, можно утверждать, что категории A и \vec{A} изоморфны. Связи между системами-классами, как было отмечено выше, соответ-

ствуют их свойствам. Следовательно, на основании категории \vec{A} можно описать структуру свойств систем-классов, соответствующих объектам категории A , т. е. построить категорию B , изоморфную категории \vec{A} .

Этот изоморфизм определяется ковариантным функтором $G: \vec{A} \rightarrow B$, таким, что на объектах категории \vec{A} функтор G задается следующим образом:

$G(\alpha_{s_m,m}^{i-1,i}) = b_m^i, \quad (i = \overline{1,n})$, где b_m^i – объект, соответствующий системе-классу (свойству-классу) i -го уровня иерархии;

$G(\alpha_{1,1}^{0,0}) = b_1^0$, где b_1^0 – объект, соответствующий свойству-классу системы-класса *бытие*, т. е. системе-классу *свойство*, для получения которого использовался морфизм $\alpha_{1,1}^{0,0}$;

на единичных морфизмах –

$$G\left(1_{\alpha_{s_m,m}^{i-1,i}}\right) = 1_{b_m^i}, \quad G\left(1_{\alpha_{1,1}^{0,0}}\right) = 1_{b_1^0};$$

на морфизмах, принадлежащих парам объектов соседних уровней, –

$$G\left(\left(\alpha_{r_{s_m}, s_m}^{i-2, i-1}, \alpha_{s_m, m}^{i-1, i}\right)\right) = \beta_{s_m, m}^{i-1, i}, \quad (i = \overline{2, n}),$$

где $\beta_{s_m, m}^{i-1, i} \in \text{Mor}_B(b_{s_m}^{i-1}, b_m^i)$ – морфизм, соответствующий связи свойств классов категории B ;

на морфизмах, принадлежащих парам объектов верхнего уровня, –

$$G\left(\left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,1}\right)\right) = \beta_{1,1}^{0,1}, \quad G\left(\left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,2}^{0,1}\right)\right) = \beta_{1,2}^{0,1}, \quad G\left(\left(\alpha_{1,1}^{0,0}, \alpha_{1,1}^{0,0}\right)\right) = \beta_{1,1}^{0,0};$$

на морфизмах, принадлежащих парам объектов j -го и i -го уровней, при $j < i$ –

$$G\left(\left(\alpha_{r_{s_m}, s_m}^{j-1, i-1}, \alpha_{s_m, m}^{j, i}\right)\right) = \beta_{s_m, m}^{j, i}.$$

Для построения целостной модели естественной классификации необходимо рассмотреть операцию объединения категорий A и B .

Однако в теории категорий для двух произвольных категорий операция объединения не определена. Это связано с необходимостью и сложностью учета произведения морфизмов категории, являющейся результатом объединения, так как для нее, естественно, должны выполняться аксиомы из определения категории. Тем не менее, задача объединения категорий, как следует из сказанного выше, имеет место и в нашем случае может быть решена, так как для рассматриваемых категорий можно определить операцию их объединения, обеспечивая выполнение упомянутых аксиом.

Объединение категорий целесообразно выполнять, объединяя их объекты. Если у категорий нет общих объектов, можно говорить о так называемом дизъюнктом объединении категорий [22]. В нашем случае объект $a_{1/2}^1$ категории A совпадает с объектом b_1^0 категории B , так как и тот и другой соответствуют одной и той же системе-классу.

Определим операцию объединения категорий A и B относительно этих объектов. Результатом объединения будет категория $A \cup B$. Классом объектов этой категории будет $Ob A \cup B = Ob A \cup Ob B$, а классом морфизмов –

$$\text{Mor} A \cup B = \text{Mor} A \cup \text{Mor} B \cup \mathfrak{Z}, \quad \text{где } \mathfrak{Z} = \bigcup_{i=1}^n \bigcup_{j=1}^{k_i} \text{Mor}(a_1^0, b_j^i),$$

каждой конкретной паре (a_1^0, b_j^i) сопоставлено множество морфизмов

$$\text{Mor}(a_1^0, b_j^i) = \{\gamma_{1,j}^{0,i}\}, \quad \gamma_{1,j}^{0,i} = \alpha_{1,2}^{0,1} \beta_{1,j}^{0,i}.$$

Принятые в качестве исходных необходимые условия естественности (условия иерархичности и монизма, а также деления предельно широкого класса) делают возможным построение естественной классификации и, следовательно, могут рассматриваться как достаточные. Поэтому можно предложить использовать их совокупность в качестве формального критерия естественности классификации в строгом смысле. Данное предложение основывается на двух принципиальных выводах, которые могут быть сделаны в результате применения теории категорий к моделированию и исследованию естественной классификации.

Во-первых, полученная классификационная структура соответствует описанным в [20] "слабым критериям естественности", а именно:

- в данной структуре по месту объекта можно предсказать его свойства, так как они определяются связями объектов (систем-классов), что соответствует определению естественной классификации, сформулированному Ю.А. Шрейдером;
- данная структура охватывает все возможное количество парадигм, так как является предельно абстрактной моделью универсума в целом, что соответствует определению, сформулированному С.В. Мейеном и В.Ю. Забродиним;
- применение данной структуры позволяет достигать максимального количества целей, так как в ней учтены сущностные свойства объектов (систем), что соответствует "критерию Любищева";
- структурная упорядоченность объектов (систем) в данной классификации сохраняется при смене предметной области, для которой она строится, т. е. при смене классификационных признаков, так как является универсальной и не зависящей от предметной области, что соответствует определению, сформулированному У. Узвеллом.

Во-вторых, разработанная классификационная структура соответствует также приведенному в [20] "сильному критерию естественности", выдвинутому Г.Б. Боким, так как выражает закон взаимосвязи систем реальной действительности.

Следовательно, можно утверждать, что данная классификация представляет собой "отражение системности, существующей в самих природных объектах", адекватна по своим свойствам (в частности, по структуре) естественному представлению системы и, таким образом, в соответствии с критериями [8, с. 75; 20] является естественной.

Как дополнительное содержательное обоснование естественности разработанной классификации может рассматриваться тот факт, что упомянутые выше условия (иерархичности и монизма, а также деления предельно широкого класса), выбранные в качестве исходных для построения математической модели, позволяют получить условия естественности, предложенные нами ранее в [11], как следствия. Рассмотрим это подробнее.

После объединения категорий образуется классификационная структура, в которой, если ее рассматривать как систему понятий, родовое понятие соответствует надсистеме данной системы, видовые понятия – подсистемам данной системы, видовое отличие – системе-классу, соответствующей функциональному свойству (связи) данной системы и являющейся видом понятия (системы-класса) свойство. Это означает, что в данной структуре выполняется необходимое «условие системности» [11], так как в содержании понятия будут отражены существенные функциональные свойства системы в надсистеме, а в его объеме – поддерживающие свойства.

В полученной при построении математической модели классификационной структуре функциональные связи системы в надсистеме являются видами функциональных связей надсистемы. Если данную классификационную структуру рассматривать как систему понятий с учетом изоморфности категории связей и категории свойств, то легко видеть, что выполняется необходимое «условие свойств» [11]. Это условие с необходимостью выполняется, так как видовое отличие некоторого понятия оказывается видом видового отличия родового понятия по отношению к данному.

Из выполнения этих двух условий («условия системности» и «условия свойств») следует выполнение обобщающего утверждения: родо-видовая классификация понятий существенных функциональных свойств определяет родо-видовую классификацию понятий систем-классов, обладающих этими свойствами [11]. Несмотря на то, что построение модели данной классификации начиналось с систем-классов (объектов), взаимосвязь и взаимозависимость объектов и их свойств проявились достаточно наглядно. При этом приоритет свойств не вызывает сомнений, так как именно свойства являются тем феноменом, за счет которого образуются объекты (системы).

Аналогично предыдущим условиям легко видеть, что в разработанной классификационной структуре выполняется необходимое «условие связности» [11]. Поддерживающие свойства системы i -го уровня оказываются функциональными свойствами систем $i + 1$ -го уровня, что следует из начальных необходимых и достаточных условий.

Предложенная математическая модель естественной классификации позволяет вскрыть закономерности так называемого "механизма сборки", в результате действия которого у системы (целого) возникают новые свойства, не выводимые из свойств составляющих (частей), и который сегодня практически совсем не исследован фундаментальной наукой [23].

Оказывается, что системы-классы, связанные между собой как род и вид, обладают такими свойствами, что для их описания на определенном уровне необходимо и достаточно учитывать как свойства данного вида (части), так и свойства его рода (целого). В первую очередь это проявляется

ся при описании морфизмов подкатегорий категорий морфизмов. Показательным при этом, по нашему мнению, оказывается тот факт, что морфизм подкатегории категории морфизмов есть пара морфизмов объектов, связанных между собой в категории, над которой строится категория морфизмов. Таким образом, формально при данном описании свойства частей оказываются зависящими, в первую очередь, от свойств целого, так как описание свойства части включает в себя описание свойства целого.

Данное положение можно также рассматривать как обоснование фундаментальности и универсального характера вводимого системологией отношения поддержания функциональной способности целого.

Существенной особенностью представленной модели следует считать формальное проявление предполагаемого философией и системологией отсутствия тождества свойств и связей.

Объектами подкатегории категории морфизмов являются связи. Ими не могут быть свойства объектов категории, над которой построена категория морфизмов. В противном случае при объединении категорий в единую структуру происходило бы пересечение класса объектов с классом морфизмов, что недопустимо по определению категории [22]. В связи с этим при математическом описании естественной классификации помимо категории, описывающей связи объектов, была введена изоморфная ей категория, описывающая их свойства.

Обозначение единичного морфизма 1_{a_0} как морфизма $\alpha_{1,1}^{0,0}$ позволило использовать его аналогично входящим морфизмам во все остальные объекты и осуществлять операции с объектами, морфизмами и категориями корректно, с соблюдением всех формальных требований. Кроме того, это имеет содержательную системологическую интерпретацию.

Поддержание функциональной способности целого на любом уровне классификационной структуры проявляется в виде некоторой функциональности на уровне, верхнем по отношению к данному (номер на единицу меньше по сравнению с данным). Подсистемы системы-класса *бытие* своими связями также поддерживают целостность своей системы и, соответственно, ее функциональную способность как целого. Для категории *бытие*, однако, какой-либо надкатегории не существует. Специфика целостности предельно широкой системы-класса заключается в ее самодостаточности, а не в проявлении во вне. Аппарат теории категорий обладает средством, позволившим в явном виде определить специфическую функциональную способность *бытия* как предельной целостности. Это определение соответствует использованию в качестве входящего единичного морфизма, представляющего в модели сущность системы со стороны внутренней причины наличия у нее сущностных функциональных свойств.

В современных исследованиях много внимания уделяется системному подходу в классификациях. Подчеркивается, что научные классификации следует строить на логико-теоретической основе. Признается возможность классифицирования с помощью одной формальной схемы в разных областях знаний. Однако до сих пор нет завершенных исследований по теории классификации, использующих представление об онтологичности и единственности сущности явлений природы. В данной работе рассматривалась попытка внести вклад в разработку такой теории, в том числе для концептуального моделирования в ИКС.

Список литературы: 1. Бакаев А. А., Гриценко В. И., Козлов Д. Н. Методы организации и обработки баз знаний. К.: Наук. думка, 1993. 150с. 2. Макаллистер Дж. Искусственный интеллект и Пролог на микро ЭВМ / Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1990. 240с. 3. Макаров И. М. Предисловие / В кн. Компьютеры и познание. М.: Наука, 1990. С.3-5. 4. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1990. 320с. 5. Аверкин А. И., Гаазе-Рапопорт М. Г., Поспелов Д. А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. М.: Радио и связь, 1992. 256 с. 6. Бреховских С.М. Основы функциональной системологии материальных объектов. М.: Наука, 1989.192с. 7. Гегель Наука логики. Т. 2. М.: Мысль, 1971. 435с. 8. Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. 152с. 9. Дунаев В. В. Об одной математической модели классификации // НТИ. Сер.2. 1990. N 3. С.22-27. 10. Митрофанова С. С. Естественная классификационная система как явление культуры // Пробл. системных исследований. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1985. С.31- 44. 11. Соловьева Е. А. О математическом моделировании системы понятий, методе и критериях естественной классификации // НТИ. Сер.2. 1991. N 4.С.1-10. 12. Соловьева Е. А., Маторин С. И. Методы моделирования и модели понятийных знаний // НТИ. Сер. 2. 1989. N4. С.2-8. 13. Соловьева Е. А. О принципах проектирования, структуре и свойствах состоятельной модели системы понятий // НТИ. Сер.2. 1990. N 4. С.2-8. 14. М. F. Bondarenko, S. I. Matorin and E. A. Solov'eva "Analysis Of Systemological Tools For Conceptual Modeling Of Application Fields" // Automatic Document and Mathematical Linguistics. Allerton Press, Inc., New York, 1996. Vol. 30, No. 2. P.33-45. 15. Бондаренко М. Ф., Соловьева Е. А., Маторин С. И. Основы системологии. Учебно пособие. Харьков: ХТУРЭ, 1998. 118с. 16. Бондаренко М. Ф., Соловьева Е. А., Маторин С. И. Методология интеллектуальных автоматизированных систем (фундаментальность и гуманистичность научного направления) / Методические рекомендации по выполнению НИР. Харьков: ХТУРЭ, 1998. 110с. 17. Соловьева Е. А., Маторин С. И. О моделировании понятийных знаний: системный бионический подход // НТИ. Сер. 2. 1989. N3. С.2-8. 18. Соловьева Е. А. О единой модели понятийных знаний, системы терминов и предметной области // НТИ. Сер.2. 1997. N 1. С.1-6. 19. Маторин С. И., Соловьева Е. А. Детерминантная модель системы и системологический анализ принципов детерминизма и бесконечности мира // НТИ. Сер.2. 1996. N8. С.2-9. 20. Забродин В. Ю. Проблема классификации (обзор) // НТИ. Сер.2. 1980. №2. С.36-38. 21. Мельников Г. П. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 1978. 368с. 22. *Общая алгебра* / О. В. Мельников, В. Н. Ремесленников, В. А. Романьков и др./ Под общ ред. Л. А. Скорнякова. М.: Наука, 1990. 592с. 23. Мойсеев Н. Н. Универсальный эволюционизм и коэволюция // Природа. 1989. №4. С.3-8.

Поступила в редколлегию 16.10.98

УДК 371.385:681.3

Н. В. БЕЛОУС, В. В. СЕМЕНЕЦ, И. Ю. ШУБИН

КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СРЕДЫ РАЗРАБОТЧИКА КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

Разработка математических моделей формального описания интеллектуальной деятельности и одного из самых сложных процессов — обучения имеет прямое отношение к построению компьютерно-ориентированных систем обучения и контроля знаний. На современном этапе исторического развития — переходе человечества к обществу, когда компьютерные технологии кардинально меняют все сферы человеческой деятельности, динамика развития науки, техники и экономики такова, что профессиональные знания устаревают каждые 2 – 4 года. Чтобы успешно противостоять нехватке квалифицированных специалистов, необходимо переосмыслить отношение к образованию и профессиональной подготовке. Возникла потребность в создании новых технологических систем, которые позволяли бы передать большому количеству людей произвольный объем информации и специальных знаний. Для разработки подобных систем необходима также новая методология процесса образования в условиях информатизации общества. Одним из наиболее перспективных направлений в этом отношении является внедрение дистанционного обучения на основе компьютерной и телекоммуникационной техники. Дистанционное обучение предъявляет принципиально новые требования к методикам и средствам изучения и закрепления знаний. Эти требования касаются в первую очередь системного представления большого объема взаимосвязанных знаний из различных прикладных областей. В образовательном процессе невозможно непосредственное использование систем, в которых знания содержатся в алгоритмической форме, так как обучаемый, используя их, видит только результат, а сам процесс принятия решения остается от него скрытым. Очевидно, что традиционные информационные технологии малопригодны для использования их в учебном процессе. Поэтому возникла необходимость разработать новые инструментальные системы создания и организации активных информационных ресурсов. Такой инструментальной системой является интегрированная среда разработчика компьютерных обучающих систем (ИСРКОС) ГИПЕР_ПРАКТИК™, основным принципам построения которой и посвящена данная статья.

ИСРКОС как средство создания активных информационных ресурсов. С точки зрения возможности автоматизированной обработки информационные ресурсы могут находиться в двух формах: пассивной и активной.носителем пассивной информации является книга или ее компьютерный эк-

вивалент — простой, гипертекстовый или мультимедийный. Доступ к пассивным информационным ресурсам обеспечивается через человека, что существенно замедляет процесс обработки информации и принятия решения. Активные информационные ресурсы представляют собой формализованные и зафиксированные на машинных носителях профессиональные базы данных и знаний. Они доступны не только для автоматизированного хранения и поиска, но также для обработки с помощью компьютерных технологий. Активные информационные ресурсы превращают компьютер в активного партнера человека, не только берущего на себя выполнение всей рутинной расчетной, поисковой и оформительской работы, но и помогающего принимать проектные решения, оставляя за человеком преимущественно творческие функции. Есть основание полагать, что отношение объема активных информационных ресурсов к общему объему национальных информационных ресурсов станет одним из существенных экономических показателей нашей страны. Поэтому главным принципом, лежащим в основе концепции построения ИСРКОС, должно быть не просто использование готовых активных и пассивных ресурсов, а создание новых активных информационных ресурсов и перевод пассивных в активную форму, внешнее представление которой должно быть удобно для восприятия. Такой подход позволяет аккумулировать профессиональные знания и опыт в виде активных ресурсов. В то же время интегрированная среда разработчика позволяет создавать наборы компьютерных обучающих систем (КОС) без необходимости досконального изучения алгоритмических языков, которые до последнего времени были единственным средством представления активных информационных ресурсов.

ИСРКОС как средство дистанционного обучения. Как дистанционное обучение невозможно без развитых средств тестирования знаний, так и существующие системы тестирования обязаны поддерживать дистанционный режим. Так, в США действует служба тестирования в образовании ETS (Education Testing Service), она занимается проблемами тестирования в школах, высших учебных заведениях и сотрудничает с множеством частных фирм по оценке профпригодности лиц, желающих учиться и трудоустроиться в Америке. В частности, именно эта организация разработала TOEFL — тест по английскому языку для иностранцев. При ЮНЕСКО существует организация IEA (International Evolution of Educational Achievement), занимающаяся оценкой достижений в образовании. Таким образом, необходимость включения в ИСРКОС средств создания не только обучающих, но и развитых средств тестирования знаний, ориентированных на дистанционное обучение, продиктована современными требованиями к организации учебного процесса.

В настоящее время для внедрения и использования дистанционного обучения технические проблемы принципиально решены. Качество такого

обучения будет определяться качеством обучающих программ, квалификацией преподавателей и организацией учебного процесса [1].

Таблица 1

Данные для сравнения трех систем обучения

Показатель	Дистанционное	Компьютерное	Очное
Темп обучения	Произвольный, управляемый по желанию обучаемого	Произвольный, управляемый по желанию обучаемого	Управляемый, по программе работы учебного заведения
Связь с преподавателем	По сети	Отсутствует	Непосредственная
Возможности адаптации учебного курса к требованиям учащихся	Высокие	Низкие	Низкие
Качество контроля знаний	Высокое	Низкое	Среднее
Централизованный контроль учебного процесса	Возможен	Невозможен	Затруднен
Затраты на обучение	Низкие	Низкие	Высокие
Затраты на подготовку курса	Выше, чем для очного, ниже, чем для компьютерного	Выше, чем для очного и дистанционного обучения	-----
Пропускная способность преподавателя	Высокая	Преподаватель не нужен	Низкая
Предметные области	Ограниченные	Ограниченные	Неограниченные
Легкость использования единых новых учебных материалов	Возможно	Затруднено	Очень затруднено
Скорость обучения	Средняя, в соответствии с выбранным темпом обучения	Низкая	Высокая

Для сравнения приведем оценку качества очного образования, которое зависит: от преподавателя (на 50%), методических материалов (на 20%), технических условий в классе (подготовки и характеристик компьютерной техники, проекционного оборудования — на 15%), от состава группы (разброс в уровне подготовки и численности слушателей — на 10%), всего остального (организации учебного процесса, дополнительных услуг — на 5%). Анализ источников [1 – 3] приведен в табл. 1, где показаны сравнительные данные по трем системам обучения.

Так как качество дистанционного обучения непосредственно зависит от качества обучающих программ, разрабатываемая ИСПКОС обязательно должна содержать средства, облегчающие создание компьютерных обучающих систем дистанционного обучения. При этом необходимо поддерживать не только режим "on-line" (WWW, FTP, Chat, Telnet...), но и режим "off-line" (e-mail), который имеет меньшую стоимость по сравнению с первым и является более доступным для обучаемых.

ИСРКОС как средство интеграции знаний. Рассмотрим этапы получения знаний в процессе обучения на примере студента технического университета (рис. 1.).

Все окружающие нас системы делятся на естественные — нерукотворные, предоставленные человечеству в его распоряжение, и искусственные — созданные человеком для удовлетворения его потребностей. Инженер является творцом искусственных систем, которые должны гармонично дополнять естественные. Законы, изучаемые фундаментальными науками, представляют собой основание для инженерной деятельности и одновременно накладывают на нее соответствующие ограничения. Поэтому первый этап технического образования связан с изучением естественных систем и методов их описания.

На втором этапе студент переходит к изучению тех разделов искусственных систем, которые являются общими для большинства инженеров. Сюда относятся материаловедение и сопротивления материалов, теоретическая механика и теория механизмов и машин, электротехника и электроника, основы технологии машиностроения и т. п.

На заключительном, третьем этапе студент приобретает знания, специфические для того класса искусственных систем, созданию и эксплуатации которых он решил себя посвятить.



Рис. 1. Этапы обучения в техническом университете

Существенной особенностью схемы, представленной на рис. 1, является то, что на всех этапах учебного процесса используются единые средства для построения и описания математических и информационных моделей, содержащих знания: математика и ее разделы — логический анализ, теория информации, искусственный интеллект и системология. Системология позволяет объединить модели знаний в единое целое, расположив их на соответствующем уровне иерархии знаний [4].

Представленный на рис. 1 процесс обучения складывается из трех фаз: получения знаний, приобретения умений и овладения навыками (рис. 2). Источником знаний являются курсы лекций и различные учебные пособия. В этих источниках даются понятия, раскрывается их содержание, свойства, приводятся математические и логические модели, а также экспертные знания, устанавливающие связи свойств и понятий, приводятся обобщения, классификации и агрегации понятий.

Современные средства работы с пассивными информационными ресурсами (гипертекстовые, мультимедийные) в совокупности с сетевыми технологиями вполне пригодны для получения знаний, в том числе и для дистанционного образования. Умение использовать пассивные знания достигается обучаемыми методом проб и ошибок на семинарских занятиях и лабораторных работах, выполняемых на натуральных и информационных моделях. Наиболее полно эта задача решается при курсовом и дипломном проектировании. Образовательный процесс направлен на формирование умения связывать в сознании обучаемого многообразные знания в единую систему, пригодную для решения поставленной практической задачи. Эта цель достигается путем методической интеграции знаний, содержащихся в фундаментальных, общинженерных и профилирующих дисциплинах.

Использование для этого компьютера требует разработки специальной технологии и программной среды — ИСРКОС. Из всего сказанного выше следует, что ИСРКОС должна сочетать в себе свойства как гипертекстовых, так и экспертных систем. Она должна настраиваться не только на конкретную предметную область, но и на конкретного индивида, т.е. на личность обучаемого.

ИСРКОС как средство индивидуализации процесса обучения. Важнейшим требованием к системе дистанционного обучения является обеспечение его индивидуальности, т. е. обучение каждого конкретного ученика в соответствии с его личными особенностями и задачами. С этой целью используется модель обучаемого — совокупность знаний о нем, позволяющая выбрать оптимальный способ обучения. Обладая такой моделью, учебная система может более разумно управлять процессом обучения и освободить преподавателя от рутинной работы, давая ему возможность больше времени уделять анализу сложных ситуаций. Поэтому зада-

чей ИСРКОС является предоставление разработчику обучающих систем специальных средств манипулирования моделями обучаемых.

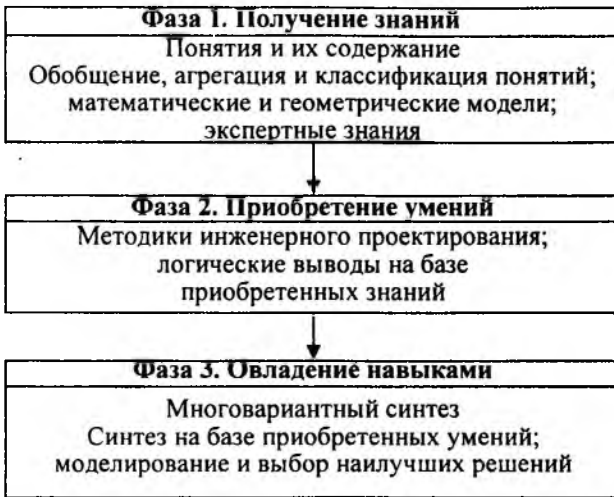


Рис.2. Фазы обучения

Модель обучаемого должна содержать ответы на вопросы не только о том, что знает и умеет делать конкретный обучаемый, но и о том, к какому психологическому типу он относится и чего достиг за время обучения. В соответствии с этим определим структуру модели обучаемого, как совокупность четырех компонентов:

- Р — процедурные знания,
- Т — личностные характеристики,
- С — его концептуальные значения,

Н — история обучения, т. е. запись всего предшествующего взаимодействия системы с обучаемым.

Для заполнения данной модели необходимо, чтобы пользователь прошел “вступительное” тестирование, в процессе которого исследуются как профессиональные навыки и знания, так и свойства личности кандидата. Для формирования модели обучаемого и статистических оценок также необходимо использовать анкетные данные. Действительно, на своем рабочем месте каждый человек может выполнять целый ряд различных функций и задач, требующих соответствующих интеллектуальных навыков, — от сохранения в памяти разных фактов и определений до всесторонней способности анализировать последовательности возможных действий, разрабатывать проектные решения и

осуществлять выбор из набора альтернатив. Таким образом, уровни навыков различны. Поэтому для повышения объективности при создании базы тестовых вопросов ИСРКОС должна поддерживать иерархию навыков [5]. Иерархия содержит шесть уровней интеллектуальных навыков, причем каждый уровень включает в себя навыки уровней. Каждый уровень ассоциируется со специфическим набором интеллектуальных навыков или техник, таких как определение необходимого действия или оценка ситуации. Отметим, что данная модель получила широкое распространение в западных образовательных системах и эффективно используется не один десяток лет. Табл. 2 иллюстрирует соответствие уровней таксонометрической классификации наборам основных интеллектуальных навыков, представленных в форме указаний к какому-либо действию.

Таблица 2

Таксонометрическая иерархия навыков

Уровни классификации (от высшего к низшему)	Интеллектуальные навыки
Оценка (Evaluation)	Оцените, примените стандарты, решите, укажите ошибки, взвесьте, покажите отношения между, суммируйте, решите, посмотрите на ситуацию и сообщите о том, что произойдет с наибольшей вероятностью, рассудите
Синтез (Synthesis)	Постройте таблицу или график, спроектируйте, сформулируйте, объедините, обобщите, подскажите, придите к соглашению, предложите, перескажите своими словами, покажите взаимосвязь между, сделайте заключения
Анализ (Analysis)	Проанализируйте, найдите логические ошибки, сравните и противопоставьте, опровергните, сделайте вывод из, спроецируйте одну ситуацию или проблему на другую, диагностируйте, представьте в виде диаграммы, распознайте компоненты или признаки
Применение (Application)	Примените, вычислите, решите, составьте план, выберите, продемонстрируйте, спроектируйте процедуру, произведите замену, интерпретируйте, приведите в действие
Понимание (Comprehension)	Переведите, сделайте различие между, приведите примеры, обсудите, оцените, объясните, укажите, перефразируйте
Знание (Knowledge)	Выделите, дайте определение, расположите, вспомните, сделайте утверждение, приведите в соответствие, разместите, маркируйте, очертите, распознайте

Для того чтобы эффективно оперировать соответствующими различным уровням интеллектуальными навыками, ими, естественно, необходимо обладать.

Разработка курса обучения по конкретному предмету чрезвычайно трудоемкая задача. С ней успешно может справиться только коллектив специалистов: преподаватель, ведущий аналогичный курс, психолог, ди-зайнер, редактор и т.д. Но для достижения поставленной цели данный коллектив специалистов различного профиля нуждается в едином инструмен-

тальном средстве, которое позволило бы им эффективно взаимодействовать. Таким решением и является интегрированная среда разработчика компьютерных обучающих программ.

Любая технология, в том числе и информационная, представляет собой соединение методологии, определяющей последовательность действий, направленных на получение необходимого результата, и инструментальных средств, используемых для выполнения этих действий. Технологическую основу для описываемой концепции разработки ИСРКОС составляет система ГИПЕР_ПРАКТИК™, разрабатываемая в Харьковском техническом университете радиоэлектроники. Данную среду можно использовать во всех трех фазах обучения: получения знаний, приобретения умений и овладения навыками. Внедрение данной среды, совместно с технологией дистанционного образования, позволит обеспечить высокое качество обучения, с одной стороны, путем привлечения для разработки курса коллектива специалистов высокого класса, с другой — путем коррекции методик обучения в зависимости от уровня подготовки и психологических особенностей обучающихся.

Список литературы: 1. *Богачков Ю.* Дистанционное обучение: выгодный шанс для корпораций//Компьютеры+Программы. 1997. №5. С. 64—69. 2. *Евгений Г., Савинов А., Савинов К.* Гиперзнания — новая информационная технология в инженерном образовании//КомпьютерПресс. 1998. №3. С. 277—283. 3. *Никитин А.* Авторизованное обучение — взгляд из провинции//КомпьютерПресс. 1998. №9. С. 56—58. 4. *Werner E.* Artificial intelligence and tutoring systems. Computational approaches to the communication of knowledge. Los Altos: Morgan Kaufmann. 1987. 486 p. 5. *Benjamin S. Bloom.* Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals, by committee of college and university examiners. New York: D. McKay Co. 1956-1964.

Поступила в редколлегию 05.10.98

И.В.ГОЛИУС, В.В.ТИЩЕНКО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОЙ МЕТОДОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ

Компьютеризация процессов производства и сервирование процессов системной технологии решаются в настоящее время путем построения методологии проектирования систем и, как следствие, разработкой технологических функций сервисных систем.

В настоящей работе предлагаются некоторые аспекты причинно - следственной методологии, позволяющей упорядочить последовательность анализа и разработку модели путем разбиения процесса разработки на стадии, каждая из которых сопровождается анализом и оценкой содеянного.

В работе [1] определены общие принципы построения некоторой причинно - следственной методологии. Ее основой была непрерывность преобразований, начиная с задания, через промежуточные модели системы и до программной модели, на базе опорной информации и всестороннего анализа целостности и удовлетворенности целей и требований постановки задачи.

Причиной построения модели является предложение по разработке, которое имеет отдельные недостатки в конструкции. Поэтому сначала нужно было сформировать задание с четкой формулировкой целей, требований и условий: $SD(C, t, u)$, где C - цели создания, t - требования к программной конструкции, u - условие ее существования. Разнообразие целей (достичь определенной точности, устойчивости развития или оптимальности, возможно, эффективности, или конструктивности и т.д.) позволяет установить подход к требованиям в виде формального, неформального или комбинаторного, каждому из которых соответствует топологическая, нормированная и другие области знаний. В целом база опорной информации включает четыре области, взаимосвязанные и составляющие органическое целое: $VOI(O.3 \times O.Y. \times O.H. \times O.P.)$, где $O.3$ - область знаний, $O.Y.$ - область умений, $O.H.$ - область навыков, $O.P.$ - область представлений.

На первой стадии разработки программной модели была сформулирована задача путем построения гипотетической модели (ГМ) с атрибутами: конструктивных объектов (К.О.), области определения (О.О.) и функции принадлежности (μ). Выполнение этой стадии осуществлялось на основе аудитного анализа (А.А.) путем эквивалентирования параметров области знаний и задания, абстрагирования и формализации параметров в атрибуты на базе μ (рис. 1. [2]).

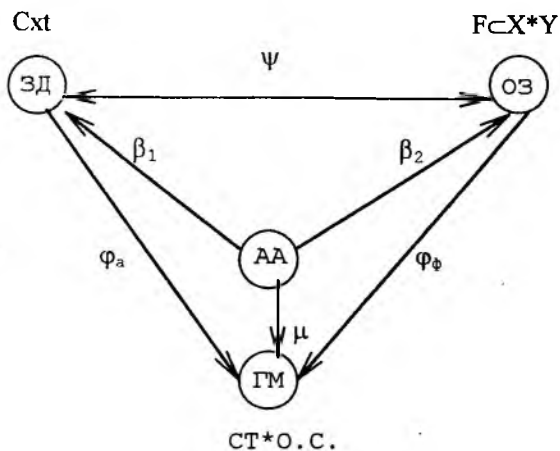


Рис. 1. Диаграмма формулировки задачи:

ψ - операция эквивалентирования; β_1, β_2 - операция выборки; φ_a - операция абстракции; φ_b - операция формализации.

На второй стадии разработки программной модели выполнена постановка задачи (рис. 2) в результате построения концептуальной модели (К.М.) с атрибутами: комбинаторные единицы моделирования (К.Е.М), области значения (О.З.) и функции критериальных оценок (μ_k). Выполнение этой стадии осуществлялось на основе систематического анализа (С.А.) путем эквивалентирования Г.М. и О.У., декомпозиции Г.М. и композиции К.М. из элементов О.У. на базе μ_k .

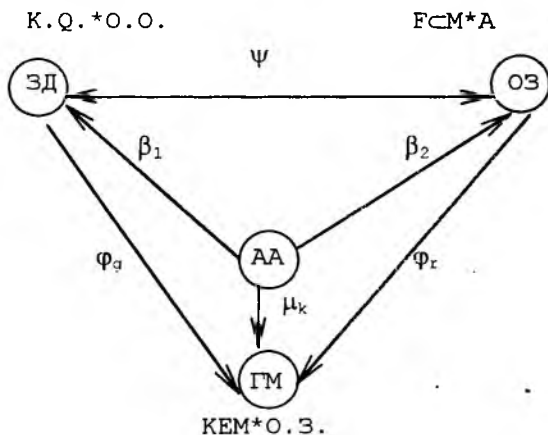


Рис. 2 Диаграмма постановки задачи

ψ - операция эквивалентирования; β_1, β_2 - операция выборки; φ_d - операция декомпозиции; φ_c - операция композиции; $M*A$ - пространство алгоритмов и методов.

На третьей стадии разработки программной модели осуществлялось представление задачи (рис. 3) путем построения схематологической модели (С.М.) с атрибутами: структуры объектов, области состояний (представлений) и функции оценки конструкции (μ_c). Разработка на этой стадии велась на основе схематологического анализа (Сх.А.) путем эквивалентирования атрибутов К.М. и О.Н., конструирования атрибутов К.М. и представления их элементами О.Н.

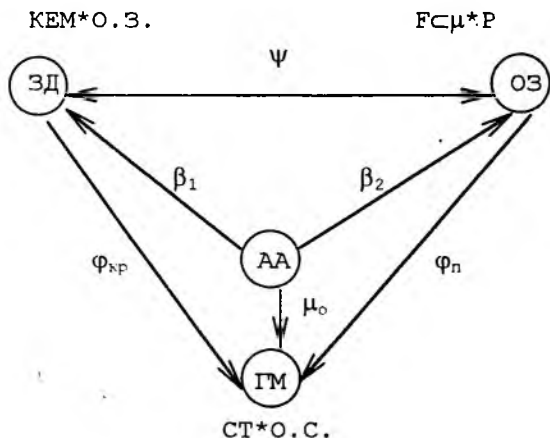


Рис. 3. Диаграмма представления задачи:

ψ - операция эквивалентирования; β_1, β_2 - операция выборки; φ_{np} - операция конструирования; φ_n - операция программного представления; μ_o - функция оценки конструкции; М*П - пространство методов и программ

На четвертой стадии разработки программной модели осуществлено отображение задачи (рис. 4), т.е. проектное представление модели путем разработки в выбранной системе предметной области (П.О.), в соответствии с тестами и планом эксперимента (Т.П.) на основе оценки репрезентации (μ_p).

Разработка на четвертой стадии велась на основе спецификационного анализа путем построения программной модели и выбора системы (виртуальной или встроенной), а также языковых средств (Б.М.).

Четвертая стадия разработки является заключительной, но не окончательной, потому что «всегда лучшее - враг хорошему».

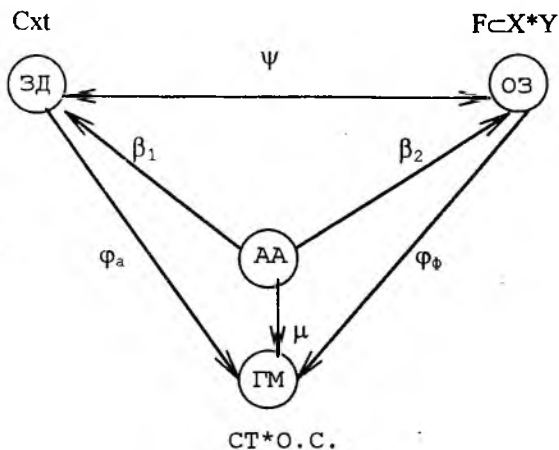


Рис. 1. Диаграмма формулировки задачи:

ψ - операция эквивалентирования; β_1, β_2 - операция выборки; φ_a - операция абстракции; φ_b - операция формализации.

На второй стадии разработки программной модели выполнена постановка задачи (рис. 2) в результате построения концептуальной модели (К.М.) с атрибутами: комбинаторные единицы моделирования (К.Е.М), области значения (О.З.) и функции критериальных оценок (μ_k). Выполнение этой стадии осуществлялось на основе систематического анализа (С.А.) путем эквивалентирования Г.М. и О.У., декомпозиции Г.М. и композиции К.М. из элементов О.У. на базе μ_k .

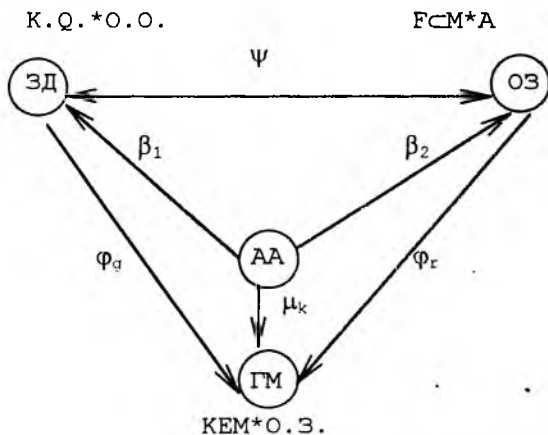


Рис. 2. Диаграмма постановки задачи

ψ - операция эквивалентирования; β_1, β_2 - операция выборки; φ_a - операция декомпозиции; φ_b - операция композиции; $M*A$ - пространство алгоритмов и методов.

На третьей стадии разработки программной модели осуществлялось представление задачи (рис. 3) путем построения схематологической модели (С.М.) с атрибутами: структуры объектов, области состояний (представлений) и функции оценки конструкции (μ_c). Разработка на этой стадии велась на основе схематологического анализа (Сх.А.) путем эквивалентирования атрибутов К.М. и О.Н., конструирования атрибутов К.М. и представления их элементами О.Н.

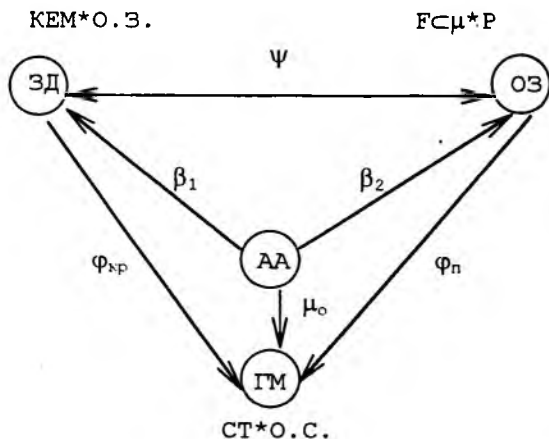


Рис. 3. Диаграмма представления задачи:

ψ - операция эквивалентирования; β_1, β_2 - операция выборки; $\Phi_{\text{сп}}$ - операция конструирования; $\Phi_{\text{п}}$ - операция программного представления; μ_0 - функция оценки конструкции; M^*P - пространство методов и программ

На четвертой стадии разработки программной модели осуществлено отображение задачи (рис. 4), т.е. проектное представление модели путем разработки в выбранной системе предметной области (П.О.), в соответствии с тестами и планом эксперимента (Т.П.) на основе оценки репрезентации ($\mu_{\text{р}}$).

Разработка на четвертой стадии велась на основе спецификационного анализа путем построения программной модели и выбора системы (виртуальной или встроенной), а также языковых средств (Б.М.).

Четвертая стадия разработки является заключительной, но не окончательной, потому что «всегда лучшее - враг хорошему».

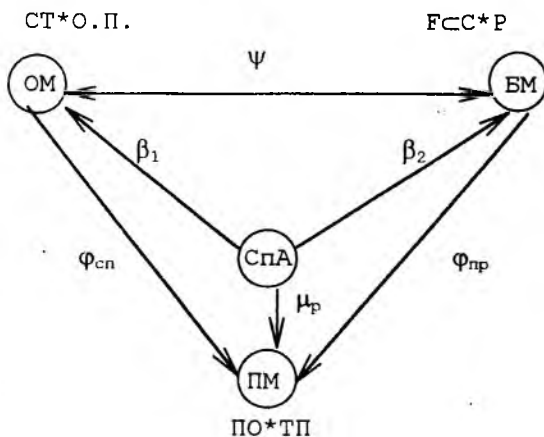


Рис. 4. Диаграмма отображения задачи:

ψ - операция эквивалентирования, β_1, β_2 - операция выборки; $\varphi_{сп}$ - операция спецификации; $\varphi_{пр}$ - операция проектирования; C*P - пространст-во системных средств и программ

Следует отметить, что системный анализ не представляет собой монолита, а состоит из группы работ по разработке программной модели, требующей специфического подхода к анализу. В результате этого удалось постадийно выделить аудитный анализ, систематический анализ, схематологический и спецификационный анализы, являющиеся составными частями системного анализа и образующие в нем единое целое. Этот подход дает возможность проанализировать на каждой стадии разработки строгость описания П.М., алгоритм решения и программного представления, а также проектное решение с выбором системы и оценки репрезентации.

Список литературы: 1. Тищенко В.В. Об одной методологии разработки программных моделей// Пробл. бионики. 1998, Вып. С. 181-185. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир. 1978. С. 312.

Поступила в редколлегию 07.10.98

Г.Г.ЧЕТВЕРИКОВ

СИНТЕЗ ПРОСТОРОВИХ СТРУКТУР МОВНИХ СИСТЕМ (НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ)

У даний час задача ефективного сприймання та видавання інформації на природній мові не вирішена. Створені системи характеризуються малою придатністю для роботи в режимі реального часу, оскільки спроби оброблення на природній мові є копіюванням задач, методів та моделей двозначної логіки й схемотехніки, що були відомі й до створення апарату алгебри скінченних предикатів (АСП) [1]. Зокрема, математичні моделі природної мови описуються паралельними алгоритмами АСП, а потім програмно обробляються на послідовно діючих процесорах фон-Неймана, усунуто з розгляду суть багатозначного (*κ*-значного) характеру мовних повідомлень, виникають проблеми розмірності систем рівнянь АСП та методів їх розв'язування.

Таким чином, виключна важливість розроблення основ теорії синтезу надшвидкодійних структур україномовних інтерфейсних систем та задач створення вискоелективних засобів систем і машин штучного інтелекту (ШІ), підвищення продуктивності шляхом розробки паралельних (просторових) методів оброблення інформації й проектування на цій основі просторових елементів, структур та систем спілкування на природній українській мові, розроблення логічних числень висловлювань і числень предикатів, які дають можливість описати мову за допомогою апарату рівнянь тощо, визначається внутрішніми потребами як суспільства, так і інформаційно-обчислювальних систем, а також необхідністю подальшого підвищення продуктивності людської діяльності, зокрема праці програмістів, інженерів та наукових працівників і забезпечення комфортності їх роботи з ЕОМ. Недостатність розроблення концептуальної, методичної та технічної бази для створення таких структур визначають важливість і актуальність роботи, а стислий аналіз стану справ свідчить про актуальність і велике наукове та прикладне значення даної проблематики [1-3].

Під час розв'язання даної задачі за останні півстоліття нагромаджені різноманітні теоретичні знання та факти, зроблені спостереження і висновки щодо побудови доступних для ЕОМ математичних моделей мови. Ці моделі зорієнтовані на виділення слів та фраз, морфологічний, синтаксичний та семантичний аналіз, переведення у внутрішнє зображення, розуміння тексту та синтез штучної мови. Показана необхідність вивчення та моделювання механізмів сприйняття і синтезу мови людиною. Зроблено висновок, що людська мова, як явище дискретне, повинна описуватися засобами дискретної

математики, зокрема багатозначної логіки, оскільки природна мова багатозначна, що проявляється у вигляді омографічності слів, тобто неоднозначності їх змісту. Розроблено математичний апарат АСП [1] та проведено широкий спектр досліджень з розроблення, із застосуванням АСП, опису ієрархічної структури природної мови для автоматичного оброблення тільки чужомовних текстів, поданих у графічній та акустичній формах.

Наявність АСП відкриває можливість переходу від алгоритмічного опису інформаційних процесів до опису їх у вигляді рівнянь, а рівняння задають відношення між змінними. Усі змінні в рівнянні рівноправні - будь-які з них можуть виступати у ролі як незалежних, так і залежних. Алгоритми та програми описують незворотний процес роботи систем від входів до виходів, а рівняння АСП - забезпечують у процесі роботи систем і зворотний процес: вхідні сигнали можна подати на будь-які полюси системи і, відповідно, зняти результуючий сигнал теж можна з будь-яких полюсів. При цьому рівняння дають ту перевагу перед алгоритмами, що можна розрахувати реакцію системи навіть при неповному визначенні вхідних сигналів, у той час як неповністю розроблений алгоритм є непрацездатним. Крім того, за умов зміни знань про об'єкт система рівнянь АСП, покладених на структуру системи, завжди готова до використання, а алгоритм часто вимагає докорінної зміни її структури [2].

Єдиним недоліком опису системи з допомогою рівнянь АСП є те, що коли число змінних у рівняннях велике, а в рівняннях інтелектних процесів це число без сумніву буде великим, то й комбінаторно зростає число способів розподілу вхідних та вихідних сигналів між полюсами системи. За цих умов практично неможливо створити повний набір алгоритмів, кожний з яких обчислював би реакції системи при певному способі розподілу вхідних та вихідних сигналів між полюсами системи.

Раніше вже розглядалися методи побудови, синтезу та оптимізації швидкодіючих перемикальних структур мовних систем ІІІ. Побудовано зворотний перемикальний ланцюг першого та другого роду [2]. Розглянемо перемикальний ланцюг третього роду (далі функціональний перетворювач), який є моделлю універсальної k -значної структури (комірки).

В узагальненому вигляді *одновхідний одновхідний універсальний багатозначний функціональний перетворювач* (УБФП) містить *елемент розпізнавання (АЦП та дешифратор), комутатор, ЦАП і блок керування* (рисунок).

Елемент розпізнавання k -значної змінної реалізує предикат: $t = x^{k_i}$, де t - двозначна (логічна) змінна, x - k -значна змінна, $k_i \in \{0, 1, \dots, k-1\}$ - i -те значення k -значної змінної. Розпізнавання значень вхідного алфавіту під час роботи просторових k -значних структур на першому етапі зводиться до порівняння (аналого-цифрового перетворення АЦП) деякого фізичного вхідного алфавіту X з відповідним набором квантованих рівнів статичних

Проте збільшення значності k вище 16 наштовхується на фізичні обмеження з одного боку напівпровідникових компонентів, які у мікроелектронному виконанні не дозволяють збільшувати динамічний діапазон живлячих напруг, а з іншого боку – зростання числа порогів веде до підвищення жорсткості припусків на відхилення багаторівневих сигналів, що також не може бути забезпечене у твердотілому варіанті. Крім цього, одновхідні УБФП характеризуються низькими функціональними можливостями, оскільки реалізують лише одномісні функції k -значної логіки, що замало для мовних задач ШП. Отже, виникає необхідність переходу до багаторозрядних зображень букв українського алфавіту та створення багатовхідних УБФП, керованих зовні теж k -значними сигналами й структурами [2,5].

Аналіз робіт з моделювання механізму слова показує, що майже в усіх випадках моделі описуються на мовах теорії алгоритмів чи мов програмування. При цьому моделюються, як правило, окремі режими мовної діяльності людини: аналізу, синтезу чи нормалізації мовного повідомлення. Але людина, що володіє природною мовою, крім цих режимів здатна реалізувати практично незліченне число інших режимів мовної поведінки. Так, вона може відновити текст нечітко вимовленого мовного повідомлення, заповнити стерту букву в тексті, виправити друкарську помилку. Вона також може відновити значення частини ознак при неповному завданні тексту словоформи та відомих (наявних) значеннях деяких інших ознак.

Для здійснення повноцінної автоматизованої мовної діяльності необхідно моделювати велику кількість різних режимів обробки слів. З ситуації, що виникла, бачиться тільки один вихід: необхідно перейти від алгоритмічного опису окремих видів мовної діяльності до реляційного опису закономірностей мови, тобто відношень, які є основою керування мовної діяльності. Необхідна формальна мова, якою можна було б записувати ці відношення у вигляді рівнянь. Нарешті, необхідні ефективні машинні методи розв'язку систем таких рівнянь [1, 2].

В українському алфавіті порівняно з російським є суттєві відмінності [5]. Так, у російському алфавіті відсутні букви *ї, є, і* та апостроф; українській букві *е* відповідають *э та е* (*електрика - електричество, театр - театр*); українській букві *и* в російській графіці відповідає буква *ы* (*син - сын, рити - рьть*).

Наявна в російському алфавіті і відсутня в українському буква *ѐ* передає звукосполучення *[jo]* або м'якість попереднього приголосного та голосний *[o]*: *ёлка [jo'лка]*, *ёжик - [jo'жик]*, *тётка - [t'отка]*.

Буква "г" в українській фонетиці позначає гортанний звук, для задньоязикового використовується буква "ґ": *ґрати* (на бандурі); (міцні) *ґрати*, а в російській мові наявний лише задньоязиковий [г]: *играть, голова, игнорировать*, який передається буквою "г".

Як суттєву відміну слід зауважити тверду вимову приголосних перед буквою "е" в українській мові, проте м'яку в російській: день [д'ен'] - день [д'ен'], тепер [теп'єр'] - тепер [т'єп'єр'].

Замість апострофа, властивого українській графіці, у російському письмі використовується твердий знак "ъ": з'їзд - съезд, об'явити - объявить (але в'ялий - вялый, кров'ю - кровью, оскільки в російській мові губні приголосні є м'якими).

Підкреслимо ще одну особливість, яка розмежовує українську мову від російської з її прийменником "у" або "в" [5]. У російській мові прийменники "у" та "в" до того ж самого кореня дають слова не однакового, а різного значення, тоді як в українській мові такі слова мають одне значення й від зміни прийменника "у" на "в" й навпаки їх значення залишається те ж саме. Наприклад, по-українськи: *улетіти і влетіти - куди?* - в клітку, в кімнату; *уїхати, вїхати - куди?* - в двір; *внести й унести - куди?* - в хату тощо. А в російській мові справа стоїть цілком інакше, наприклад, *улететь - звідки?* - з клітки, з кімнати, а *влететь - куди?* - в клітку, в кімнату; *уехать - звідки?* - з двору, *въехать - куда?* - в двір; *унесть - звідки?* - з хати, а *внесть - куди?* - в хату тощо.

Порівняльний аналіз морфологічної та деривативної системи української й російської мов показує наявність значної різниці між ними. Проте спільність завдань, що їх вирішує будь-яка мова, та спільні витоки, як вказувалось вище, дозволяють використати розроблені в теорії інтелекту для російської мови основні математичні моделі словозміни та словотворення з достатньою ефективністю й для української мови.

На відміну від російської мови, українській властиве яскраве демутивно-емоційне стилістичне зафарбування. Ця ж особливість зберігається й для словотворчого аналізу слів української мови. Найпродуктивніше в ній проявляється суфіксний спосіб словотворення для іменників та прикметників, у меншій мірі - для дієслів та числівників. Не дивно, що в іменників та прикметників української мови така різноманітна система суфіксних морфем, тоді як у дієслів різноманітніша система префіксної деривації. Це, очевидно, пояснюється тим, що словотворчі суфікси, у поєднанні з твірною основою, легко переводять її у клас слів, які позначають предметність та передаються іменниками, а словотворчі префікси, приєднуючись до дієслів, уточнюють дію чи процес у розумінні просторових, часових, цільових та інших характеристик. Найбільша кількість іменників в українській мові утворюється шляхом суфіксації. Під час суфіксації словотвірна основа може бути використана із будь-якого розряду слів та словоутворюючий суфікс переводить цю основу тільки в той розряд слів, для яких властивий даний суфікс. Це пояснюється тим, що суфікси безпосередньо пов'язані з певним парадигматичним оформленням

слова. Наприклад, суфіксні утворення типу *трійка, десяток* належать до категорії іменників, а не числівників, а *сив-і-ти, більш-а-ти* відносяться до дієслів, а не до прикметників, хоча словотвірні основи в них числівники та прикметники відповідно. Значення словотвірної основи модифікується не тільки в чисто лексичному, але й лексико-граматичному плані, оскільки різні частини мови пов'язані з граматичними категоріями та виконують різні синтаксичні ролі в реченні. Усі суфіксні морфеми за своєю функцією поділяються на дві групи :

- 1) суфікси, які, приєднуючись до основ, утворюють слова з новим лексичним значенням (*незчисленн-ість, неточн-ість*, від прикметників *незчислений, неточний*);
- 2) суфікси, що приєднуючись до основ, привносять новий смисловий відтінок, наприклад, збільшення чи зменшення (*хустка - хусточка, дуб - дубище*); відтінок одиничності предмета чи особи (*хат-ин-а, дерев-ин-а*); відтінок ласки (*мат-ус-я*) тощо. Тільки суфікси першої групи можуть переводити словотвірну основу в інший розряд слів, наприклад, основу іменника в розряд прикметників чи дієслів: *ліс-н-ий* , *щаст-и-ти* тощо. Характерною особливістю української мови є надзвичайно розвинута система суфіксів другої групи, які приєднуючись до словотвірної основи, вносять у значення слова додатковий смисл з певним емоційним навантаженням.

Запити інтелектуалізації вимагають від ЕОМ здатності розуміння людської мови, достатньої "кмітливості", здатності мислення й творчості. Орієнтація на досягнення високорівневої технології обробітку інформації (отримання нової якості) проявляється в спробах реалізувати на фон-нейманівських комп'ютерах систем III. Проте практичні досягнення при цьому вражаюче бідні у порівнянні з важливістю проблеми та величезними зусиллями, що затрачені упродовж третини віку на їх реалізацію.

Людська мова, як явище дискретне, повинна описуватись засобами дискретної математики, крім цього, природна мова багатозначна (*k*-значна). Мови ж програмування та теорії алгоритмів можуть описувати тільки однозначні функції, природна ж мова вимагає формальних засобів для опису багатозначних функцій чи, іншими словами, - відношень. Таку мову утворюють логічні числення висловлювань та числення предикатів, які дають можливість описати мову за допомогою апарату рівнянь. Розроблення АСП відкриває можливість переходу від алгоритмічного опису інформаційних процесів до опису їх у вигляді рівнянь, а рівняння задають відношення між змінними [2].

Пропонується перейти від створення спектру часткових типів *k*-значних структур до єдиної моделі універсальної комірки, яка шляхом зміни налагоджень (але не структури) забезпечує переналагодження під час відтворення інтелектуальних властивостей і перетворень [2,3].

Виходячи з викладеного, стає очевидним актуальність задачі створення основ теорії синтезу швидкодіючих k -значних структур для мовних систем III з використанням математичних моделей української мови, що базуються на методах теорії інтелекту і її базовій основі - алгебрі скінченних предикатів.

Список літератури: 1. Шабанов-Кушнарєнко Ю.П. О проблемах теории интеллекта // Пробл. бионики. 1990. Вып. 44. С. 3 - 10. 2. Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г. Основи теорії синтезу надшвидкодіючих структур мовних систем штучного інтелекту: К.: ІЗМН, 1997. 386 с. 3. Четвериков Г.Г. Концепция построения быстродействующих многозначных структур языковых систем искусственного интеллекта // Автоматизация производственных процессов 1996. №2. С 89 -94. 4. Пат. № 14936 А. Україна, Н03К 19/02 Функціональний перетворювач з багатозначним кодуванням / Бондаренко М.Ф., Коноплянко З.Д., Четвериков Г.Г.. (Україна). № 96073064; Дата подання 30.07.96; Опубл. 04.03.97р. 5. Російсько-український словник наукової термінології: Суспільні науки / Й.Ф.Андерш, С.А.Воробйов, М.В. Кравченко та ін. К.: Наук.думка, 1994.600 с.

Надійшла до редколегії 05.10.98

С. И. МАТОРИН

**ДЕТЕРМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ ЭВОЛЮЦИИ
СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ЧЕЛОВЕКА**

Решение многочисленных проблем цивилизации современная наука видит в формировании информационного общества как первой ступени ноосферы путем смещения акцентов развития с вещественно-энергетических на информационные [1, 2]. В качестве инструмента создания информационного общества, как ступени для перехода на новую модель развития, рассматриваются новые информационные технологии. «Создание информационного общества и всех последующих ступеней ноосферы будет происходить на базе новых информационных технологий с использованием систем искусственного интеллекта, которые сами по себе призваны повысить совокупную интеллектуальную мощь цивилизации» [2, с.129]. Рассмотрим два основных аспекта процесса разработки интеллектуальных систем для новых информационных технологий с точки зрения роли в этом процессе бионики и когнитологии.

С одной стороны, как известно, центральное место в разработке интеллектуальных систем для новых информационных технологий занимает проблема представления и приобретения знаний, т. е. моделирования когнитивных структур и процессов [3, 4]. Более того, современные рекомендации по развитию вычислительной техники вообще и ее интеллектуализации в частности свидетельствуют о произошедшей смене парадигмы исследований в области интеллектуальных систем, в смысле *превращения бионического или когнитивного направления этих исследований в приоритетное*. «Вычислительные машины – в том виде, как они существуют сейчас, – в некотором смысле уже достигли предела своих возможностей. Сегодня главная задача состоит уже не в том, чтобы довести их производительность до максимума, извлечь все возможное из машинных ресурсов. Напротив, их работа должна основываться на совершенно иной идее – идее антропоцентризма. Чтобы мы могли понять работу машин, нужно научиться организовывать ее по образу и подобию работы человеческого мозга» [5, с.64]. Явно выраженный гуманистический характер исследований в области интеллектуальных систем и технологий, основанных на новой парадигме искусственного интеллекта, является их важнейшей чертой.

С другой стороны, многочисленными концепциями устойчивого развития единодушно признается, что для обеспечения перехода к новой модели развития, в первую очередь, «необходима коренная переориентация сознания и интересов людей на новые цели, отказ от многих ценностей и

потребностей, которые еще недавно представлялись общечеловеческими» [1, с.8]. С этой точки зрения также очевидна важность изучения функционирования сознания и структуры знаний человека, его интересов и целей его деятельности, следовательно, того же когнитивного аспекта развития человека и общества. При этом именно *бионическое (когнитивное) направление искусственного интеллекта привело в наши дни к тому, что «первые после фундаментального пересмотра картины мира, связанного с именами Коперника и Дарвина, разработка методов искусственного интеллекта возвращает нас к вопросу о месте человека в природе»* [4, с.9-10].

Очевидная и неслучайная взаимосвязь названных аспектов, проявляющаяся при создании новых информационных технологий, позволяет взглянуть на бионику и когнитологию – основные инструменты исследований в области искусственного интеллекта и, следовательно, новых информационных технологий – с нетрадиционной точки зрения. Традиционно бионика рассматривается как «наука о применении в технических устройствах и системах (в частности в системах искусственного интеллекта) принципов, свойств, функций и структур живой природы» [6, с. 37]. Когнитология (когнитивная наука, когнитивистика) – это интегральная научная дисциплина, изучающая и моделирующая познавательные структуры человека, которые отражают окружающую его действительность, и механизмы рассуждения об этой действительности [7, 8]. Сказанное выше позволяет увидеть в этих науках не только инструменты прикладных технических разработок, но и средства решения насущных проблем человечества на основе изучения и совершенствования самого человека.

Бионические и когнитивные исследования с использованием методологии детерминантного анализа, рассматривавшейся в [9], позволяют получить нетривиальные результаты при изучении человекообразных проблемных областей, которые в рамках философских дисциплин, а также средствами социологии, психологии и даже антропологии до сих пор не были получены. К таким результатам относится рассмотренная в [9] целостная модель системы переработки информации человека, полученная путем партитивного классифицирования уровней сенсомоторной активности. Эти результаты основаны на развиваемом нами системологическом подходе, специально предназначенном для анализа слабоструктурированных и слабоформализованных проблемных областей.

При рассмотрении партитивной классификации была определена текущая внутренняя детерминанта системы ЧЕЛОВЕК, т. е. текущая функциональная способность человека. Проанализируем изменение функциональной способности человека, в результате которого достигнуто ее текущее состояние, с целью выявить направление становления системы ЧЕЛОВЕК.

Согласно методологии детерминантного анализа, это обеспечивается путем построения *генетической классификации*.

Генетическая классификация используется в двух аспектах. Во-первых, с ее помощью могут быть проанализированы фазы становления (адаптации) системы, по которым происходило изменение ее функциональной способности от некоторого исходного состояния (когда система была еще исходным материалом) до текущего (до текущей внутренней детерминанты), когда она превратилась в субстанцию соответствующей надсистемы. Во-вторых, – стадии эволюции системы, если кроме изменения ее функциональной способности (внутренней детерминанты) обнаруживаются еще и соответствующие изменения функционального запроса надсистемы (т. е. внешней детерминанты этой системы). Данная классификация способствует выработке представления о возможной предельной внутренней детерминанте рассматриваемой системы.

Изменение функциональной способности системы есть изменение ее внутренней детерминанты. Изменение же внутренней детерминанты системы может происходить, как это отмечалось выше, либо при неизменном функциональном запросе надсистемы (адаптация), либо в условиях изменения внешней детерминанты данной системы (эволюция). Следовательно, анализ изменения функциональной способности системы должен обязательно сопровождаться анализом изменения ее внешней детерминанты, т. е. функционального запроса надсистемы.

При построении партитивной классификации в качестве текущей внутренней детерминанты человека рассматривалась функция одного из уровней сенсомоторной активности. Следовательно, изменения особенностей жизнедеятельности человека, обуславливающие формирование уровней сенсомоторной активности, следует относить к проявлению внешней детерминанты этой системы. Таким образом, для сопоставления изменений внутренней и внешней детерминант необходимо проследить, как изменение условий жизнедеятельности предков человека связано с изменением их сенсомоторной активности. Это обеспечивается путем построения генетической (филогенетической) классификации системы ЧЕЛОВЕК.

Для построения данной классификации необходимо использовать результаты антропологии, палеонтологии и археологии, наиболее значимыми из которых, на наш взгляд, являются данные о смене палеолита (древнего каменного века) неолитом (новым каменным веком). Смена названных этапов представляет особый интерес, так как именно она связана с появлением человека современного типа и являет собой «самый критический и величественный из всех периодов прошлого – период возникновения цивилизации» [10, с. 164]. Следовательно, анализ системообразующих факторов этого периода должен быть чрезвычайно полезен для выявления направления развития системы ЧЕЛОВЕК.

Названный период вызывает наибольший интерес, по нашему мнению, с точки зрения так называемой «неолитической метаморфозы» (П. де Шарден) или «неолитической революции» (Г. Чайлд), которая представляет собой смену *непроизводящей* хозяйственной деятельности *производящей*. Данные о переходе от собирательства к производящему хозяйству при переходе от палеолита к неолиту хорошо известны и в настоящее время широко используются в ходе разработки концепции выживания и устойчивого развития человечества [2]. Приведем некоторые из этих данных с целью подчеркнуть важные, с нашей точки зрения, аспекты этого перехода и, в частности, происходящий в то время экологический кризис.

Во-первых, обратим внимание на классическое и почти поэтическое описание этого процесса П. де Шарденом. «Прежде всего непрекращающийся прогресс размножения. Вследствие быстрого роста числа индивидов свободная территория уменьшается. Группы сталкиваются между собой. По этой причине амплитуда перемещений уменьшилась, и встал вопрос об извлечении наибольших результатов из все более ограниченных владений. Можно предположить, что под давлением этой необходимости возникла идея сохранения и воспроизведения на месте того, что раньше приходилось искать и преследовать вдали. Разведение скота и обработка земли заменяют сбор плодов и охоту. Пастух и земледелец. Из этой важной перемены вытекает все остальное» [10, с. 165].

Во-вторых, приведем более современные и конкретные данные из исследования по истории хозяйственно-культурного развития человечества. «Истребление крупных животных и дальнейший рост населения к концу верхнего палеолита привели к острому кризису охотничьего хозяйства, охватившему громадные территории теплого и умеренного климатических поясов. В отдельных районах кризисная ситуация была катастрофической реальностью. ... Там, где кризис охотничьего хозяйства проявлялся особенно остро и где отсутствовала возможность миграции или освоения новых площадей, охотники и собиратели были вынуждены переходить к более интенсивному использованию природных ресурсов, совершенствуя свою технологию. Прогресс в развитии орудий труда и жизнеобеспечивающих систем ускорил переход к производящим формам хозяйства. ... Археологам удалось на уникальном археологическом материале проследить многие стадии перехода к растениеводству в Мезоамерике. В условиях острого экологического кризиса 12–10 тыс. лет назад добычей охотников сделались даже грызуны. Население перешло к интенсивному собирательству съедобных растений, что положило начало развитию земледельческих навыков. ... решающим в те времена стало стремление «собирателей урожая» восполнить искусственными посадками убывающие в процессе эксплуатации естественные заросли съедобных растений. Этот тезис был экспериментально доказан на материа-

дах пещерного поселения в долине Оаксака ... Процесс перехода к скотоводству и растениеводству был выявлен также на археологических памятниках Юго-Западного Ирана в долине Дех-Луран ... » [11, с. 76-78].

Приведенных данных вполне достаточно для того, чтобы процесс смены палеолита неолитом определить в терминах детерминантного анализа как процесс смены определенных аспектов внешней детерминанты системы ЧЕЛОВЕК, выразившийся в изменении условий и способов жизнедеятельности существовавших тогда предков человека. Сравнивая условия жизнедеятельности до и после неолитической революции, можно видеть, что до этой революции непродуцирующее хозяйство обуславливало использование человеком в основном своего прошлого опыта, а после нее продуцирующее хозяйство потребовало использования, в первую очередь, планирования и целеполагания. Следовательно, можно утверждать, что в ходе смены палеолита неолитом и последовавшей за этим неолитической революции внешняя детерминанта системы ЧЕЛОВЕК, детерминировавшая прежде развитие третьего уровня сенсомоторной активности, изменилась и потребовала активизации и развития четвертого уровня.

Изменение внешней детерминанты системы всегда приводит к изменению предельной внутренней детерминанты этой системы, что, в свою очередь, влечет за собой соответствующее изменение ее текущей внутренней детерминанты. Для анализа изменений текущей внутренней детерминанты системы ЧЕЛОВЕК в ходе смены палеолита неолитом необходимо проследить изменения особенностей сенсомоторной активности предков человека в тот же период. В литературе по антропологии и палеонтологии об этом процессе имеется достаточное количество данных. Результаты анализа по данным [10, 12 – 14] представлены в табл. 1.

Самыми существенными из имеющихся данных, по нашему мнению, являются данные о том, что в это время происходит смена на исторической сцене палеоантропа, в частности древнего человека *неандертальско-го* типа, неантропом, т. е. человеком современного типа, так называемым *кроманьонцем*. Приведенные данные свидетельствуют о том, что неандерталец, который занимался, в основном, охотой и собирательством, активно использовал три уровня сенсомоторной активности (причем третий уровень явно был доминирующим), а кроманьонец, осуществивший переход к скотоводству и растениеводству, явно приступил к активизации и использованию четвертого уровня.

Сравнение процессов изменения внешней детерминанты системы ЧЕЛОВЕК (в виде определенных изменений условий жизнедеятельности людей) с изменением внутренней детерминанты при переходе от неандертальцев к кроманьонцам, результаты которого представлены в табл. 2, позволяет предполагать наличие взаимосвязи этих процессов. На основании приведенных данных эта взаимосвязь выглядит следующим образом.

Таблица 1

<i>НЕАНДЕРТАЛЬЦЫ</i>	<i>КРОМАНЬОНЦЫ</i>
Преимущественно образная репрезентация информации в памяти при недостаточной ее логико-понятийной обработке. Интеллектуальные способности в зачаточном состоянии	Присущее им архаическое мышление имеет все предпосылки рационального постижения реальности. Начало существования интеллектуальных способностей
Речевые способности имеются, но плохо развиты. Не могут произносить многие звуки современных языков	Речевые способности хорошо развиты. Могут свободно произносить все звуки современных языков
Каких-либо знаков или символов на стенах пещер, орудиях труда не обнаружено	Используют знаки и символы для обозначения вещей. Украшают орнаментом орудия труда. Рисунки на стенах пещер
Основной тип орудия варьировался не значительно	Орудия делятся на более сотни типов
Примитивная технология изготовления орудий, не требующая высокой квалификации, которой мог воспользоваться любой взрослый	Резкое повышение эффективности технологии изготовления орудий, потребовавшей значительной квалификации, высокого мастерства и времени на овладение ею
Признаков функциональной специализации не обнаружено	Деятельность приобретает характер профессии

• На этапе верхнего палеолита внешняя детерминанта живших тогда неандертальцев соответствовала непродвинутой деятельности. Данная внешняя детерминанта обуславливала наличие внутренней детерминанты в виде достаточно развитого третьего уровня сенсомоторной активности, которую, видимо, следует рассматривать и как текущую, и как предельную.

• В начале неолита внешняя детерминанта живших тогда людей изменилась и стала соответствовать продвинутой деятельности. Данная внешняя детерминанта обуславливала появление внутренней детерминанты в виде формирующегося четвертого уровня сенсомоторной активности, которая для кроманьонцев была предельной. Текущая внутренняя детерминанта кроманьонцев представляла собой переходную фазу от доминирующего третьего уровня к доминирующему четвертому. Эта детерминанта кроманьонцев соответствовала действующей в то время внешней детерминанте в большей степени, чем предельная внутренняя детерминанта неандертальцев, что и обусловило поражение последних.

Если усложнение среды обитания и условий жизнедеятельности до степени глобального экологического кризиса закономерно приводит к активизации нового уровня сенсомоторной активности системы ЧЕЛОВЕК, то разумно предполагать, что сегодняшние глобальные проблемы развития цивилизации также приведут к изменению сенсомоторной активности современного человека. Рассмотрим особенности этого изменения в свете выстраиваемой генетической классификации.

ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ	ТИП ЧЕЛОВЕКА	ОСОБЕННОСТИ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (внешняя детерминанта)	ОСОБЕННОСТИ СЕНСОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ (внутренняя детерминанта)
ПАЛЕОЛИТ, МЕЗОЛИТ	НЕАНДЕРТАЛЬЦЫ (ПАЛЕОАНТРОПЫ)	Непроизводящая деятельность, опирающаяся в основном на прошлый опыт (охота и собирательство). Отсутствует стабильное разделение труда	Преобладание чувственного отражения. Формирование архаического мышления на основе классифицирования по воспринимаемым признакам. Интерпретация неизвестного по аналогии с известным. Преобладание условно-рефлекторной деятельности на основе прошлого опыта. Преобладающее использование символов (а не знаков), речевые способности слабо развиты
НЕОЛИТ	КРОМАНЬОНЦЫ (НЕОАНТРОПЫ)	Производящая деятельность, в основном опирающаяся на планирование (земледелие и скотоводство). Стабилизация разделения труда	Становление способности к абстрактному отражению. Развитое архаическое мышление с элементами рациональности. Формирования первичных понятий, логического мышления на основе простейших индуктивных и дедуктивных умозаключений. Становление деятельности на основе планирования и целеполагания. Использование символов и знаков для обозначения вещей, речевые способности хорошо развиты
СОВРЕМЕННЫЙ	НОМО SAPIENS	Модели «неустойчивого развития» (индустриальная и сельскохозяйственная, капиталистическая и социалистическая)	Доминирование абстрактного отражения. Развитое словесно-логическое, рациональное мышления. Преобладание деятельности на основе планирования и целеполагания. Зависимость от результатов классифицирования по различным прагматическим признакам (парадигмы, идеологии и т.д.) и от привязанности к прошлому опыту (традициям). Естественные и искусственные языки. Отсутствие координации уровней сенсомоторной активности
НООСФЕРНЫЙ	НОМО ...?	Модели «устойчивого развития»	Гармоничное взаимодействие уровней сенсомоторной активности. Целостное отражение и мышление с учетом результатов работы всех уровней. Отсутствие привязки к прошлому опыту, а также результатам рационализации и классифицирования

Таблица 1

<i>НЕАНДЕРТАЛЬЦЫ</i>	<i>КРОМАНЬОНЦЫ</i>
Преимущественно образная репрезентация информации в памяти при недостаточной ее логико-понятийной обработке. Интеллектуальные способности в зачаточном состоянии	Присущее им архаическое мышление имеет все предпосылки рационального постижения реальности. Начало существования интеллектуальных способностей
Речевые способности имеются, но плохо развиты. Не могут произносить многие звуки современных языков	Речевые способности хорошо развиты. Могут свободно произносить все звуки современных языков
Каких-либо знаков или символов на стенах пещер, орудиях труда не обнаружено	Используют знаки и символы для обозначения вещей. Украшают орнаментом орудия труда. Рисунки на стенах пещер
Основной тип орудия варьировался не значительно	Орудия делятся на более сотни типов
Примитивная технология изготовления орудий, не требующая высокой квалификации, которой мог воспользоваться любой взрослый	Резкое повышение эффективности технологии изготовления орудий, потребовавшей значительной квалификации, высокого мастерства и времени на овладение ею
Признаков функциональной специализации не обнаружено	Деятельность приобретает характер профессии

• На этапе верхнего палеолита внешняя детерминанта живших тогда неандертальцев соответствовала непродвинутой деятельности. Данная внешняя детерминанта обуславливала наличие внутренней детерминанты в виде достаточно развитого третьего уровня сенсомоторной активности, которую, видимо, следует рассматривать и как текущую, и как предельную.

• В начале неолита внешняя детерминанта живших тогда людей изменилась и стала соответствовать производящей деятельности. Данная внешняя детерминанта обуславливала появление внутренней детерминанты в виде формирующегося четвертого уровня сенсомоторной активности, которая для кроманьонцев была предельной. Текущая внутренняя детерминанта кроманьонцев представляла собой переходную фазу от доминирующего третьего уровня к доминирующему четвертому. Эта детерминанта кроманьонцев соответствовала действующей в то время внешней детерминанте в большей степени, чем предельная внутренняя детерминанта неандертальцев, что и обусловило поражение последних.

Если усложнение среды обитания и условий жизнедеятельности до степени глобального экологического кризиса закономерно приводит к активизации нового уровня сенсомоторной активности системы ЧЕЛОВЕК, то разумно предполагать, что сегодняшние глобальные проблемы развития цивилизации также приведут к изменению сенсомоторной активности современного человека. Рассмотрим особенности этого изменения в свете выстраиваемой генетической классификации.

ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ	ТИП ЧЕЛОВЕКА	ОСОБЕННОСТИ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (внешняя детерминанта)	ОСОБЕННОСТИ СЕНСОМОТОРНОЙ АКТИВНОСТИ (внутренняя детерминанта)
ПАЛЕОЛИТ, МЕЗОЛИТ	НЕАНДЕРТАЛЬЦЫ (ПАЛЕОАНТРОПЫ)	Непроизводящая деятельность, опирающаяся в основном на прошлый опыт (охота и собирательство). Отсутствует стабильное разделение труда	Преобладание чувственного отражения. Формирование архаического мышления на основе классифицирования по воспринимаемым признакам. Интерпретация неизвестного по аналогии с известным. Преобладание условно-рефлекторной деятельности на основе прошлого опыта. Преобладающее использование символов (а не знаков), речевые способности слабо развиты
НЕОЛИТ	КРОМАНЬОНЦЫ (НЕОАНТРОПЫ)	Производящая деятельность, в основном опирающаяся на планирование (земледелие и скотоводство). Стабилизация разделения труда	Становление способности к абстрактному отражению. Развитое архаическое мышление с элементами рациональности. Формирования первичных понятий, логического мышления на основе простейших индуктивных и дедуктивных умозаключений. Становление деятельности на основе планирования и целеполагания. Использование символов и знаков для обозначения вещей, речевые способности хорошо развиты
СОВРЕМЕННЫЙ	НОМО SAPIENS	Модели «неустойчивого развития» (индустриальная и сельскохозяйственная; капиталистическая и социалистическая)	Доминирование абстрактного отражения. Развитие словесно-логическое, рациональное мышления. Преобладание деятельности на основе планирования и целеполагания. Зависимость от результатов классифицирования по различным прагматическим признакам (парадигмы, идеологии и т.д.) и от привязанности к прошлому опыту (традициям). Естественные и искусственные языки. Отсутствие координации уровней сенсомоторной активности
НООСФЕРНЫЙ	НОМО ...?	Модели «устойчивого развития»	Гармоничное взаимодействие уровней сенсомоторной активности. Целостное отражение и мышление с учетом результатов работы всех уровней. Отсутствие привязки к прошлому опыту, а также результатам рационализации и классифицирования

- До появления глобальных проблем развития внешняя детерминанта человека продолжала соответствовать производящей деятельности, т.е., как это стало известно, модели «неустойчивого развития». Внешняя детерминанта обуславливала наличие внутренней детерминанты в виде доминирующего четвертого уровня сенсомоторной активности, которую следует рассматривать, в данном случае, и как текущую, и как предельную.

- В настоящее время на этапе появления глобальных проблем развития (начало ноосферного этапа) внешняя детерминанта человека изменяется и становится соответствующей деятельности, которая может (должна) обеспечить устойчивое развитие цивилизации. Данная внешняя детерминанта обуславливает появление внутренней детерминанты в виде становящегося (формирующегося) пятого уровня сенсомоторной активности, которая для современного человека является предельной. Текущая внутренняя детерминанта современного человека представляет собой переходную фазу от разрозненных доминирующих уровней активности (в первую очередь доминирующего четвертого уровня) к системной целостности человека. Эта детерминанта соответствует действующей в настоящее время внешней детерминанте в большей степени, чем предельная внутренняя детерминанта homo sapiens, что и обуславливает его неизбежный уход с исторической сцены. Место его в эволюции должно быть занято носителем новой внутренней детерминанты, соответствующей системной целостности человека.

Проведенное сравнение позволяет сделать некоторые предположения относительно современного переходного этапа развития общества и цивилизации. Современный человек, как было показано средствами партитивной классификации, характеризуется доминированием четвертого уровня сенсомоторной активности, который активизировался и начал свое успешное развитие на стадии кроманьонца. Однако способ жизнедеятельности (хозяйствования), соответствующий этому уровню и позволивший преодолеть глобальные проблемы того времени, в настоящее время привел к кризисному и неустойчивому этапу развития человечества. Проводя аналогию с этапом перехода палеолита в неолит и неолитической революцией, разумно предполагать, что сегодняшний глобальный экологический кризис может быть преодолен путем активизации нового (пятого) уровня сенсомоторной активности, соответствующего требуемому изменению способа хозяйствования (модели развития).

При построении партитивной классификации подробно были рассмотрены четыре уровня сенсомоторной активности, являющиеся подсистемами системы ЧЕЛОВЕК. Иных уровней (способов отражения, мышления и т.д.) как составляющих человека не выявлено. Что же тогда представляет собой упомянутый пятый уровень? Для того чтобы лучше понять особенности и черты нового перспективного уровня, рассмотрим существующую сегодня у человека проблему с сенсомоторной активностью, компенсировать которую новый уровень и должен.

Эта проблема в литературе по антропологии описывается следующим образом. «Большая часть наших поступков определяется произвольными мотивами. Вся жизнь складывается из мелочей, которым мы непрерывно поддаемся и служим. Наше «я» непрерывно, как в калейдоскопе, меняется. Любое внешнее событие, поражающее нас, любая внезапно возникшая эмоция становится калифом на час, начинает строить и управлять, и, в свою очередь, неожиданно свертывается и заменяется чем-то другим. А внутреннее сознание, не стремясь рассеять иллюзорность этого калейдоскопа и не понимая того, что сила, которая решает и действует, вовсе не оно само, ставит на всем свою подпись и говорит о разных моментах жизни, в которых действуют самые разные силы: «это я, и это я»» [15, с. 147]. Здесь же по вопросу развития человека и его внутреннего роста говорится, что «действительный рост заключается в гармоническом развитии ума, чувств и воли» [15, с. 145], а также отмечается, что «вопрос о достижении единства – самый существенный вопрос внутреннего развития человека, если он не достиг внутреннего единства, человек не может иметь никакого «я», лишен воли» [15, с. 146].

Эта проблема – отсутствие внутренней гармонии человеческой активности и поведения – наблюдается в различных явлениях человеческого бытия. Рассмотрим, например, такое явление как традиционализм. С одной стороны, например, по мнению нобелевского лауреата Конрада Лоренца, одного из основоположников науки о поведении животных (этологии), получение животным, не обладающим от рождения всеми необходимыми инстинктами, от более старых и опытных особей информации (индивидуальное обучение) представляет собой передачу опыта и знаний от поколения к поколению, т. е. традицию [16]. С другой стороны, навыки быта, приемы мысли, восприятие предметов искусства, обращение со старшими и отношения между полами, формирующиеся воспитанием подрастающего поколения и обеспечивающие преемственность цивилизации, т. е. традицию, представляют собой стереотипы поведения, передающиеся путем "*сигнальной наследственности*" и обеспечивающие приспособление к среде, т. е. не что иное как условные рефлексy [16]. Таким образом, часто проявляющееся слепое следование традициям представляет собой использование третьего уровня сенсорной активности без подключения четвертого уровня, что является фактическим отступлением от уровня *homo sapiens* до уровня неандертальца.

Можно привести примеры использования четвертого уровня сенсорной активности без подключения третьего уровня, что также не соответствует требованиям целостности человека. К таким примерам, по видимому, относятся проведение научных исследований, решение политических и экономических вопросов без соотнесения результатов с общечеловеческими морально-нравственными ценностями и этическими нормами, а также слепое, не учитывающее те же ценности исполнение закона и выполнение служебного долга. Это явление не менее опасно для отдельно-

го человека и человечества в целом, так как индивид, использующий четвертый уровень сенсомоторной активности без подключения третьего уровня, представляет собой даже уже не животное, а некоторое устройство (машину), чуждое по сути своей живой природе человека.

Примером функционирования на втором уровне сенсомоторной активности без подключения третьего и четвертого являются наркоманы, алкоголики, маниакально алчные и неуравновешенные в своих желаниях «особи», стремящиеся любой ценой удовлетворить свои желания и достичь определенных ощущений. Исходя из существующей демографической ситуации на планете, к сожалению, можно утверждать, что появление на свет очередного поколения у большинства людей до сих пор остается следствием активности второго (в самом лучшем случае еще и третьего) уровня без подключения четвертого. Именно в этом смысле следует понимать известное положение Библии о том, что человек рожден в грехе. Он действительно, как правило, рождается по сути своей еще не человеком (индивидом), а в значительной степени животным (особью). Хорошо по этому поводу сказал демон Силен древнегреческому царю Мидасу, назвав людей «детьми случая и нужды».

Тем не менее, функции подсистем системы ЧЕЛОВЕК, рассмотренные в [9], обеспечивают вполне определенный алгоритм функционирования системы в целом. В [9] при обсуждении партитивной классификации нами сформулирован правильный (гармоничный) алгоритм функционирования человеческой системы переработки информации. В настоящее время, однако, алгоритм, в соответствии с которым осуществляется жизнедеятельность человека, как показано выше, не обеспечивает гармоничного взаимодействия и функционального единства рассмотренных подсистем. Следовательно, главной проблемой, требующей своего разрешения в первую очередь, является взаимодействие рассмотренных в [9] четырех уровней активности и, таким образом, обеспечение целостности человека как системы.

В настоящее время названная целостность рассматривается не как желательная возможность, но как актуальная необходимость. Предполагается, что конструктивное решение фундаментальных проблем современности возможно лишь на основе философско-социологической предпосылки, состоящей в том, что целью общественного развития является «целостный человек», обладающий абсолютным проявлением творческих дарований и человеческих сил, «безотносительно к какому бы то ни было заранее установленному масштабу» [17, с.20].

Целостное же функционирование системы ЧЕЛОВЕК, не сводящееся к свойствам частных функциональных уровней, при котором проявляется единство и взаимосвязь всех подсистем, соответствует в эзотерической традиции так называемому «пятому телу» человека или, по выражению апостола Павла, «телу духовному». В этой традиции отмечается, что пятому телу соответствует переход от низшего (горизонтального) плана к выс-

шему (вертикальному). Именно на пятом уровне проявляется ощущение гармонии и эталона внутреннего состояния. Именно здесь заключены, если так можно сказать, единство и целостность человека, его индивидуальность. Именно здесь проявляется самосознание, индивидуальная душа и подлинное «я» человека [18].

Достаточно подробно особенности и черты нового перспективного уровня сенсомоторной активности рассмотрены, например, в [19].

- С точки зрения сенсорного распознавания: расширение субъективного познания, новое ощущение пространства и времени, бесконечности, единства всего, прошедшего и будущего как настоящего.

- С точки зрения принятия решений: интуиция, чувство ответственности за все результаты своих поступков, невозможность быть исполнителем чужой воли без осознания цели и без ощущения ответственности, закон внутри себя.

- С точки зрения моторной активности: непереносимое сознание результатов действий и своего участия в них, морального значения своих поступков, понимание их космического значения и цели.

Таким образом, построение генетической классификации системы ЧЕЛОВЕК позволяет не только обосновать представление о предельной внутренней детерминанте системы, но и установить важные закономерности, касающиеся современного периода развития цивилизации.

Список литературы: 1. Урсул А. Д. Информационная стратегия и безопасность в концепции устойчивого развития // НТИ. Сер. 1. 1996. №1. С. 1-9. 2. Урсул А. Д. Путь в ноосферу: Концепция выживания и устойчивого развития человечества. М.: Луч, 1993. 275 с. 3. Поспелов Г. С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. М.: Наука, 1988. 280 с. 4. Лорьер Ж.-Л. Системы искусственного интеллекта / Пер. с фр. М.: Мир, 1991. 568 с. 5. Мичи Д., Джонстон Р. Компьютер – творец / Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 255 с. 6. Першиков В. И., Савинков В. М. Толковый словарь по информатике. М.: Финансы и статистика, 1991. 543 с. 7. Аверкин А. И., Гааза-Рапопорт М. Г., Поспелов Д. А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. М.: Радио и связь, 1992. 256 с. 8. Программные средства вычислительной техники: Толковый терминологический словарь-справочник. М.: Изд-во стандартов, 1990. 368 с. 9. Маторин С.И. Детерминантный анализ системы переработки информации человека // Пробл. бионики. 1998. №49. С. 72-80. 10. Пьер Тейяр де Шарден Феномен человека. М.: Наука, 1987. 240с. 11. Андрианов Б.В. Исторический прогресс: хозяйственно-культурные аспекты // Природа. 1989. №3. С.75-82. 12. Косыгин Ю.А. Человек. Земля. Вселенная. М.: Наука, 1995. 335 с. 13. Кликс Ф. Пробуждающееся мышление. История развития человеческого интеллекта / Пер. с нем. К.:Выща шк. Изд-во при Киев. ун-те, 1985. 295 с. 14. Донских О. А. К истокам языка. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 192с. 15. Успенский П. Д. Новая модель вселенной / Пер. с англ. СПб: Изд-во Чернышева, 1993. 560с. 16. Тартаковский М. С. Человек – венец эволюции? М.: Знание, 1990. 48с. 17. Гвишиани Д. М. Методологические проблемы моделирования глобального развития / Препринт №1. М.: ВНИИСИ, 1977. 28с. 18. Ошо Р Психология эзотерического. Корни и крылья. М.: "АСТ", 1992. 435 с. 19. Успенский П.Д. Tertium Organum (ключ к загадкам мира). СПб: Изд-во "Андреев и сыновья", 1992. 242с.

Поступила в редколлегия 16.10.98

И.Д. КАЛАЧЕВ, В.В. КАЛАЧЕВА, А.Д. ТЕВЯШЕВ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Введение. В процессе материального производства важное место отводится организационно-технологическим системам (ОТС), к которым, в частности, принадлежат системы материально-технического, водо-, газо-, нефте- и теплоснабжения. Они определяются геометрической структурой объекта управления, нелинейностью характеристик его элементов, иерархической структурой системы управления, многосвязностью, стохастичностью, высоким уровнем неопределенности относительно параметров, состояний системы и проявления окружающей среды. Сложность моделирования и оптимизации таких систем усугубляется слабой формализацией управляемых процессов, наличием распределенных параметров объекта управления, что приводит к значительным запаздываниям в реакции системы на прилагаемые управляющие воздействия.

Основная цель управления ОТС состоит в максимальном удовлетворении непрерывно изменяющихся потребностей в целевом продукте при минимальных энергозатратах и выполнении технологических ограничений. Для повышения качества оперативного управления ОТС в условиях неопределенности необходимо построить адекватные математические модели функционирования ОТС как объекта управления и разработать алгоритмы оперативного управления потокораспределением целевого продукта по совокупности технико-экономических показателей, выступающих в качестве локальных критериев оптимальности [1, с. 4-16].

ОТС как объект моделирования. Под ОТС подразумевается совокупность организационных, технологических и функциональных подсистем, обеспечивающих своевременную доставку целевого продукта потребителям, переработку материальных потоков в готовую продукцию, последовательность преобразования информации при выработке плановых и управленческих решений с помощью технического, информационного и математического обеспечения. Оперативное управление ОТС с применением ЭВМ возможно лишь при наличии математических моделей, для построения которых используются различные методы и алгоритмы идентификации [2].

Чтобы построить математическую модель объекта управления, необходимо определить структуру и параметры нелинейного, в общем случае, оператора F , связывающего результаты наблюдений n -мерного вектора входных переменных X и m -мерного вектора выходной переменной Y объекта управления :

$$Y = F(X). \quad (1)$$

Структурная идентификация нелинейных объектов (1) в общем случае принадлежит к классу слабоформализованных задач, решаемых при непосредственном участии лица, принимающего решение (ЛПР). При этом в качестве промежуточного этапа часто используется процедура аппроксимации нелинейных характеристик объектов системами линейных алгебраических уравнений. Интеллектуализация процедур структурной идентификации предусматривает решение следующих вопросов:

- выбор логически обоснованного класса моделей, которые могут быть реализованы имеющимися в наличии у пользователя средствами математического и алгоритмического обеспечения;
- конструирование критериев адекватности математических моделей для задачи структурно-параметрической идентификации;
- выработка и принятие всесторонне обоснованных решений относительно целесообразности дальнейшей корректировки структуры модели в выбранном классе функций (нелинейно-гладких, полиномиальных, линейно-многочленных и пр.).

Задача параметрической идентификации после линеаризации операторного уравнения (1) при выбранной структуре модели в классе линейных операторов сводится к решению уравнения

$$XA = Y, \quad A \in H_A, \quad Y \in H_Y, \quad (2)$$

где A – вектор искомых параметров модели размерности n ; Y – вектор наблюдений над выходной переменной размерности m ; H_A и H_Y – метрические (для определенности гильбертовы) пространства; X – линейный непрерывный однозначный и аддитивный оператор, представленный матрицей наблюдения порядка $m \times n$.

Интеллектуализация процедур параметрической идентификации сводится к нахождению и принятию эвристических решений с участием ЛПР по следующим вопросам:

- вычисление ранга матрицы наблюдений для уравнения (1):
$$0 \leq \text{rang } X_{m \times n} \leq \min\{m, n\}; \quad (3)$$
- установление факта, является ли система линейных алгебраических уравнений (2) определенной ($m = n$), переопределенной ($m > n$) или недоопределенной ($m < n$);
- уточнение понятия “решение” для случаев определенности, переопределенности и недоопределенности системы линейных алгебраических уравнений;
- выбор метода решения задачи параметрической идентификации для каждого из рассмотренных случаев.

Система линейных алгебраических уравнений (2) считается определенной [3, с. 154-173], если ранг матрицы наблюдений X равен числу неизвестных параметров:

$$0 \leq \text{rang } X_n = n \quad \text{при } m = n. \quad (4)$$

Задача параметрической идентификации в этом случае является корректно поставленной по Адамару и Тихонову [4, с. 15-18]. Существует единственное решение в классическом смысле, превращающее (2) в систему равенств.

Система уравнений (2) считается переопределенной [3, с. 154-173], если ранг матрицы наблюдений больше числа неизвестных параметров:

$$0 \leq \text{rang } X_{m \times n} = m \quad \text{при } m > n. \quad (5)$$

Задача параметрической идентификации в этом случае принадлежит к классу некорректно поставленных по Адамару и Тихонову [4, с. 15-18]. Единственного решения в классическом смысле не существует, поэтому вводится понятие обобщенного решения (псевдорешения). Обобщенным решением системы линейных алгебраических уравнений (2) принято называть вектор B , удовлетворяющий условию

$$\|Y - XB\|_A^2 = \min_A \|Y - XA\|_A^2, \quad (6)$$

где $\|\bullet\|$ - евклидова норма; Y - вектор наблюдений размерности m ; X - матрица наблюдений порядка $m \times n$; A - вектор оцениваемых параметров размерности n . Обобщенное решение B , найденное методом наименьших квадратов из соотношения (6), является единственным и удовлетворяет системе линейных алгебраических уравнений

$$X^T X B = X^T Y. \quad (7)$$

Система уравнений (2) считается недоопределенной [3, с. 154-173], если ранг матрицы наблюдений меньше числа неизвестных параметров:

$$0 \leq \text{rang } X_{m \times n} = m \quad \text{при } m < n. \quad (8)$$

Задача параметрической идентификации в этом случае принадлежит к классу некорректно поставленных по Адамару и Тихонову и существует бесконечное множество обобщенных решений. Выбрать одно из них можно на основе принципа внешнего дополнения, т.е. введением дополнительных ограничивающих условий. Обобщенное решение A_H с наименьшей евклидовой нормой

$$\|A_H\| = \min_{B \in S} \|B\| \quad (9)$$

принято называть нормальным псевдорешением. Оно всегда существует, единственно [3, с. 154] и находится методом линейного математического программирования. Этот вариант параметрической идентификации используется при обработке результатов космических и экономических экспериментов.

Возможности проведения активного эксперимента на действующем объекте весьма ограничены, поэтому пассивные наблюдения становятся единственным источником информации для оценивания параметров моде-

ли. Результаты таких наблюдений сильно коррелированы между собой, что приводит к плохой обусловленности и вырожденности матрицы входных переменных X . При этом получить решение $A = X^{-1}Y$ уравнения (2) с использованием обратной матрицы X^{-1} при ее размерности $m \times n$ или оценку решения $\hat{A} = (X^T X)^{-1} X^T Y$ по методу наименьших квадратов при $m > n$ невозможно. Чтобы преодолеть указанные затруднения, нужно разработать интеллектуальные процедуры параметрической идентификации.

Регуляризирующий алгоритм Тихонова. Регуляризирующим принято называть алгоритм, который позволяет найти вектор A , доставляющий минимум выражению

$$\Phi_\alpha [A, X, Y] = \|XA - Y\|^2 + \alpha R[A], \quad A \in D(R), \quad (10)$$

где $R[A]$ - стабилизирующий функционал, множество K_c , заданное условием $K_c = \{A: R[A] < c\}$, $c \geq 0$, является компактным в пространстве H_A ; $D(R)$ - область определения функционала $R[A]$. Показано [4, с. 15-18], что в случае принятых ранее ограничений относительно пространств H_A , H_Y оператора X и при строго выпуклом функционале $R[A]$ для любого $Y \in H_Y$ существует единственный элемент $A_\alpha \in D(R)$, минимизирующий функционал $\Phi_\alpha[\bullet]$.

Решить уравнение (2) можно путем минимизации стабилизирующего функционала $R[A] = A^T Q A$, где Q - квадратная матрица, которая должна оставаться постоянной при соблюдении ограничений на величину дисперсии ошибки $D = (XA - Y)^T (XA - Y)$. В этом случае функционал (10) приобретает вид

$$M = A^T Q A + \lambda (XA - Y)^T (XA - Y), \quad (11)$$

где λ - множитель Лагранжа. В результате минимизации выражения (11) по векторному параметру A получается соотношение для вычисления оценки вектора искомых параметров:

$$\hat{A} = (X^T X + \alpha Q)^{-1} X^T Y \quad (12)$$

Здесь $\alpha = 1/\lambda$ - параметр регуляризации. При $\alpha = 0$ имеют место оценки метода наименьших квадратов.

Интеллектуализация регуляризованных алгоритмов параметрической идентификации состоит в выборе оптимального значения параметра регуляризации α при условии, чтобы точность получаемого решения была того же порядка, что и погрешность исходных данных, а степень адекватности модели была наибольшей. При отклонении параметров регуляризации от своих оптимальных значений уменьшается степень адекватности математической модели реальному процессу.

Алгоритм псевдообращения по Муру-Пенроузу [5]. Для квадратной матрицы A существует обратная матрица B , если справедливо соотношение

$$AB = BA = E, \quad (13)$$

где E - единичная матрица. Прямоугольная матрица B размерности $m \times n$ не имеет обратной матрицы в ее классическом определении. В этом случае

вводится понятие псевдообратной матрицы B^+ , которая должна удовлетворять соотношению

$$B^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} (B^T B + \delta^2 I)^{-1} B^T = \lim_{\delta \rightarrow 0} B^T (B B^T + \delta^2 I)^{-1}. \quad (14)$$

Псевдообразная матрица X^+ для уравнения (2) обеспечивает минимизацию нормы $\|Y - XA\|^2$ и позволяет получать оценки вектора исходных параметров из соотношения

$$A = X^+ Y. \quad (15)$$

Для нахождения псевдообратной матрицы X^+ можно воспользоваться итерационной процедурой Гревилля [4, с. 163]. На каждом шаге этой процедуры отделяется один столбец искомой матрицы и подвергается обращению субматрица меньшего размера. Пусть X_{k-1} - субматрица матрицы X с $k-1$ столбцами, x_k - k -й вектор-столбец матрицы X . Тогда

$$X_k^+ = \left[\frac{x_{k-1}(I - x_k P_k^T)}{P_k^T} \right], \quad (16)$$

где

$$P_k = \begin{cases} \frac{(I - X_{k-1} X_{k-1}^+) x_k}{\|(I - X_{k-1} X_{k-1}^+) x_k\|^2}, & \text{если } \|(I - X_{k-1} X_{k-1}^+) x_k\| \neq 0; \\ \frac{(X_{k-1}^+)^T X_{k-1}^+ x_k}{1 + \|(X_{k-1}^+) x_k\|^2} & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (17)$$

Вычислительная процедура псевдообращения матрицы X размерности $m \times n$ начинается с построения первой строки псевдообратной матрицы по формуле $X_1^+ = x_1^T (x_1^T x_1)^{-1}$, если x_1 - ненулевой вектор, в противном случае $X_1^+ = 0^T$, где x_1 - первый вектор-столбец исходной матрицы X . На второй итерации отыскивается псевдообратная матрица, состоящая из двух строк, нижняя из которых вычисляется из соотношения (17), а верхняя пересчитывается по формуле (16). Операция псевдообращения матрицы X заканчивается после n итераций.

Интеллектуализация алгоритма псевдообращения по Муру-Пенроузу предусматривает нахождение ранга матрицы наблюдений X и вычисление степени ее обусловленности. Этот алгоритм целесообразно использовать для моделирования ОТС, описываемых недоопределенной или переопределенной системой линейных алгебраических уравнений. Для плохо обусловленных квадратных матриц $X^T X$ в уравнении (7) псевдообратную мат-

рицу $(X^T X)^+$ можно определить путем разложения последней по собственным векторам:

$$B(r) = (X^T X)^+ = \sum_{\mu=1}^r \lambda_{\mu}^+ q_{\mu} q_{\mu}^T, \quad (18)$$

где q_{μ} - собственные векторы, λ_{μ} - собственные значения оператора $X^T X$, причем если $\lambda_{\mu} \neq 0$, то $\lambda_{\mu}^+ = 1/\lambda_{\mu}$; если $\lambda_{\mu} = 0$, то $\lambda_{\mu}^+ = 0$. Задавая различное количество r членов разложения в выражении (18), можно получить псевдообратные матрицы различной степени сглаживания. Это позволяет построить множество решений $\hat{A}_r = B(r)X^T Y$, из которого по усмотрению ЛПР выбирается наиболее устойчивое.

Алгоритм сингулярного разложения [3, с. 158]. Сингулярный анализ исследует проблемы собственных значений вырожденных матриц. Алгоритм сингулярного разложения состоит из трех этапов.

На первом этапе матрица наблюдений X представляется соотношением

$$X = U \Sigma V^T, \quad (19)$$

где U , V - ортогональные матрицы размера $m \times m$ и $n \times n$ соответственно; Σ - диагональная матрица размера $m \times n$, у которой $\sigma_{ij} = 0$ при $i \neq j$ и $\sigma_{ij} = \sigma_i = \sqrt{\lambda_i} \geq 0$; σ_i - сингулярные числа матрицы X ; λ_i - собственные значения матрицы XX^T .

На втором этапе осуществляется преобразование исходного уравнения (2) с учетом соотношения (19) к виду

$$\Sigma Z = D, \quad (20)$$

где $Z = V^T A$, $D = U^T Y$ - преобразованные векторы искоемых параметров и выходной переменной.

На третьем этапе задается параметр регуляризации τ , определяющий порог чувствительной модели, и вычисляются компоненты вектора Z из соотношений

$$z_j = d_j / \sigma_j \text{ при } \sigma_j \geq \tau, \quad j = \overline{1, n} \quad (21)$$

с последующим нахождением вектора искоемых параметров по формуле

$$A = VZ. \quad (22)$$

Интеллектуализация алгоритмов сингулярного разложения сводится к привлечению дополнительной информации о погрешностях входных данных или о гладкости самого решения в целях выбора наиболее предпочтительного значения параметра регуляризации τ , обеспечивающего вычислительную устойчивость процедуры параметрической идентификации. Чтобы улучшить обусловленность системы, целесообразно использовать эффективный ранг матрицы наблюдений X , определяемый количеством сингулярных чисел σ_j матрицы Σ , величина которых больше параметра

ра τ регуляризации и эффективное число обусловленности $\rho_\tau = \sigma_{\max} / \tau$. В терминах сингулярного анализа ранг матрицы X определяется количеством ненулевых сингулярных чисел в разложении (19), а число обусловленности вычисляется как отношение сингулярных чисел

$$\rho = \sigma_{\max} / \sigma_{\min} . \quad (23)$$

Метод сингулярного разложения наиболее эффективен для моделирования плохо обусловленных систем с большим количеством входных переменных порядка 30-50. В этом случае все сингулярные числа, меньшие некоторой величины τ , отбрасываются, эффективный ранг матрицы уменьшается, структура модели упрощается, устойчивость вычислительных процедур параметрического оценивания увеличивается.

Список литературы: 1. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. Х.: Вища шк., 1980. 144 с. 2. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. М.: Наука, 1975. 616 с. 3. Молчанов И.Н. Машинные методы решения прикладных задач. Алгебра, приближение функций. К. : Наук. думка, 1987. 288 с. 4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 288 с. 5. Алберт А. Регрессия, псевдонверсия и рекуррентное оценивание. М.: Наука, 1977. 244 с.

Поступила в редколлегию 25.11.98

С.Н. ГЕРАСИН

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОДНОГО СЕМЕЙСТВА ПРЕДИКАТОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

В настоящее время широко распространена задача идентификации линейных динамических систем, которые описываются линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Обычно задача формулируется следующим образом. Зная вход (правая часть операторного равенства) и выход системы, определить коэффициенты. При этом считается известным общий вид модели данной системы. Однако в ряде случаев возникает ситуация, когда прямое измерение выхода невозможно или чрезвычайно затруднено и неизвестен общий вид оператора системы. В этом случае говорят о решении задачи структурной идентификации системы.

Типичным примером могут служить сенсорные системы, где модель неизвестна, а выходом являются субъективные ощущения, не поддающиеся объективным измерениям. Подобная ситуация возникает в радиолокации и распознавании образов. Если существует возможность установить сравнительную реакцию системы на пары подаваемых входных воздействий, то в этом случае задача структурной идентификации может быть решена [1]. Математически такая ситуация хорошо интерпретируется в виде двузначных предикатов определенной структуры, заданных на декартовом квадрате множества входных сигналов H (будем отождествлять его с гильбертовым пространством $L_2[a, b]$).

Рассмотрим бинарный предикат $E(x, y)$, заданный на некотором подмножестве декартового квадрата $H \times H$ и действующий в множество $\{0; 1\}$. Следуя терминологии работы [2], будем называть такой предикат линейным, если он имеет структуру

$$E(x, y) = D(P_x, P_y). \quad (1)$$

Здесь $x, y \in H, P: H \rightarrow R^n$ – линейное отображение в n -мерное евклидово пространство; D – стандартный предикат равенства

$$D(u, v) = \begin{cases} 1, u = v \\ 0, u \neq v \end{cases}. \quad (2)$$

Цель данной работы состоит в нахождении таких характеристических свойств предиката $E(x, y)$, выполнение которых гарантировало бы, что изучаемая система описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами.

1. Формальная постановка задачи. Пусть дана система, математическая модель которой имеет вид

$$L[y] = y^{(n)}(t) + a_1 y^{(n-1)}(t) + \dots + a_n y(t) = f(t); \quad (3)$$

$$y(0) = y'(0) = \dots = y^{(n-1)}(0) = 0,$$

где L – оператор системы, $f(t)$ – вход.

Перейдем от (3) к системе дифференциальных уравнений и запишем в матричном виде:

$$Y'(t) = AY(t) + F(t), Y(0) = (0, 0, \dots, 0)^T. \quad (4)$$

Здесь

$$F(t) = (0, 0, \dots, 0, f(t))^T, Y(t) = (y(t), \dots, y^{(n-1)}(t))^T,$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & \dots & -a_1 \end{pmatrix}.$$

Решение системы (4) имеет вид

$$Y(t) = \int_0^t e^{A(t-\tau)} F(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Равенство (5) можно переписать в координатной форме:

$$Y_i(t) = \int_0^t \beta_i(t-\tau) f(\tau) d\tau, i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Последний набор равенств представляет собой эквивалентную запись математической модели системы (3). Подробнее это описано в работе [3]. Используя формулу (6), будем формулировать характеристические свойства идентифицируемой системы.

2. Получение общего вида модели. В качестве множества входных сигналов N будем полагать совокупность функций $x(t)$ таких, что при $t \geq 0$ верно условие $x \in L_2[a, b]$. Рассмотрим теперь семейство предикатов вида

$$E_t(x, y) = D(F_t x, F_t y), F: H \rightarrow R^n \quad (7)$$

при любом t ; здесь D – предикат равенства (2) на $R^n \times R^n$ при любом t ,

$$F_t(t) = \left\{ \int_0^t \beta_1(t-\tau) f(\tau) d\tau, \dots, \int_0^t \beta_n(t-\tau) f(\tau) d\tau \right\}.$$

Изучим некоторые свойства этого семейства. Непосредственная проверка позволяет установить, что для любого t и произвольной функции из H семейство (6) удовлетворяет следующим условиям.

$$\text{Рефлексивность: } E_t(x, x) = 1. \quad (8)$$

$$\text{Симметричность: } E_t(x, y) = E_t(y, x). \quad (9)$$

$$\text{Транзитивность: Если } E_t(x, y) = E_t(y, z) = 1, \text{ то } E_t(x, z) = 1. \quad (10)$$

$$\text{Аддитивность: Если } E_t(x_1, y_1) = E_t(x_2, y_2) = 1, \text{ то} \\ E_t(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = 1. \quad (11)$$

По существу эти свойства выражают линейность оператора системы. Однако семейство обладает еще некоторыми нетривиальными свойствами. Заметим, что для любого $x \in H$ и набора линейно - независимых

$$\text{функций } \{g_i\}_{i=1}^n \in H \text{ равенство } E_t(x, \sum_{i=1}^n \gamma_{it}(x) g_i) = 1 \text{ эквивалентно}$$

системе уравнений вида

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{it}(x) \int_0^t \beta_j(t-\tau) g_i(\tau) d\tau = \int_0^t \beta_j(t-\tau) x(\tau) d\tau,$$

$j=1, 2, \dots, n$ относительно неизвестных $\gamma_{1t}, \gamma_{2t}, \dots, \gamma_{nt}$. Эта система имеет единственное решение в том случае, если ее определитель не 0. Для этого достаточно выбрать в качестве набора линейно-независимых функций $\{g_i\}_{i=1}^n \in H$ любые функции, линейная оболочка которых $L(g_1, g_2, \dots, g_n)$ не равна ядру оператора $F_t x$. Отсюда вытекает формулировка следующего свойства.

N-мерность. Существует набор линейно-независимых функций $\{g_i\}_{i=1}^n \in H$ такой, что найдется единственный набор функционалов $\{\gamma_{it}(x)\}_{i=1}^n$, для которого справедливо при любом t равенство

$$E_t(x, \sum_{i=1}^n \gamma_{it}(x) g_i) = 1, \quad (12)$$

функционалы $\{\gamma_{it}(x)\}_{i=1}^n$ являются линейной комбинацией непрерыв-

ных функционалов вида $\left\{ \int_0^t \beta_j(t-\tau)x(\tau)d\tau \right\}_{j=1}^n$, поэтому сформулиру-

ем еще одно свойство.

Непрерывность. Для любого $\varepsilon > 0$ существует $\delta(\varepsilon) > 0$ такое, что если

$$\int_0^t (x(\tau) - y(\tau))^2 d\tau < \delta, \text{ то } |\gamma_{it}(x) - \gamma_{it}(y)| < \varepsilon. \quad (13)$$

Последние два свойства означают, что оператор системы есть оператор проектирования в n -мерное евклидово пространство. Необходимо также учесть специфику разностных ядер. Для этого нам понадобится следующее свойство.

Однородность. Для любых $t_2 \geq t_1 > 0$ и для любых $x^* \in H$, связанных с произвольной функцией $x \in H$ равенством

$$x^*(\tau) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \tau \leq t_2 - t_1 \\ x(\tau + t_1 - t_2), & \tau > t_2 - t_1 \end{cases}$$

имеет место импликация: если

$$E_{t_1}(x, y) = 1, \text{ то и } E_{t_2}(x^*, y^*) = 1 \quad (14)$$

Оказывается, что свойства (8) – (14) являются необходимыми и достаточными условиями для представимости произвольного семейства предикатов $E_t(x, y)$ в виде (7).

Теорема 1. Для того чтобы предикат семейства $E_t(x, y)$ был представим в виде (7), необходимо и достаточно выполнение свойств (8) – (14).

Доказательство. Необходимость. Пусть семейство предикатов $E_t(x, y)$ имеет вид (7). Покажем справедливость свойства n -мерности. В

качестве $\{g_i\}_{i=1}^n$ выберем линейно – независимую систему непрерыв-

ных функций из линейной оболочки $\mathfrak{N}(g_1, g_2, \dots, g_n)$. Для любого $x \in H$ равенство

$$E_t(x, \sum_{i=1}^n \gamma_{it}(x)g_i) = 1$$

означает, что

$$\int_0^t \beta_k(t-\tau)x(\tau)d\tau = \sum_{i=1}^n \left(\int_0^t \beta_k(t-\tau)e_i(\tau)d\tau \right) \gamma_{it}(x), \quad k = \overline{1, n}. \quad (15)$$

Поскольку функции $\{g_i\}_{i=1}^n$ и $\{\beta_i\}_{i=1}^n$ линейно-независимы, то система (15) относительно неизвестных $\{g_{it}(x)\}_{i=1}^n$ имеет единственное решение, представляемое в виде

$$\alpha_{it}(x) = \Delta_i \Delta^{-1}, \quad i = \overline{1, n},$$

где Δ_i – определители Крамера, а Δ – главный определитель системы (15).

Покажем справедливость свойства однородности. Пусть для любых $t_2 \geq t_1 > 0$ и произвольных $x, y \in H$, $x^*, y^* \in H$ – определены. Тогда если $F_{t_1}(x) = F_{t_1}(y)$, то

$$\int_0^{t_1} \beta_i(t_1-\tau)x(\tau)d\tau = \int_0^{t_1} \beta_i(t_1-\tau)y(\tau)d\tau, \quad i = \overline{1, n}. \quad (16)$$

Кроме того,

$$\begin{aligned} \int_0^{t_2} \beta_i(t_2-\tau)x^*(\tau)d\tau &= \int_{t_2-t_1}^{t_2} \beta_i(t_2-\tau)x(\tau+t_1-t_2)d\tau = \\ &= \int_0^{t_1} \beta_i(t_1-\tau)x(\tau)d\tau, \quad i = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (17)$$

Аналогично получаем

$$\int_0^{t_2} \beta_i(t_2-\tau)y^*(\tau)d\tau = \int_0^{t_1} \beta_i(t_1-\tau)y(\tau)d\tau, \quad i = \overline{1, n}. \quad (18)$$

Учитывая равенства (16)–(18), выводим

$$\int_0^{t_2} \beta_i(t_2-\tau)x^*(\tau)d\tau = \int_0^{t_2} \beta_i(t_2-\tau)y^*(\tau)d\tau,$$

а это означает, что

$$E_{t_2}(x^*, y^*) = 1.$$

Однородность установлена, остальные свойства доказываются несложной проверкой.

Достаточность. Пусть семейство предикатов $E_t(x, y)$ обладает свойствами (8)–(14). Покажем, что в этом случае оно представимо в виде (7). Допустим, что для произвольной пары $x, y \in H$ имеет место равенство

$$E_t(x, y) = 1.$$

На основании свойства n -мерности

$$E_t(x, \sum_{i=1}^n \gamma_{it}(x) g_i) = 1.$$

Отсюда, используя симметричность и транзитивность, получаем

$$E_t(y, \sum_{i=1}^n \gamma_{it}(x) g_i) = 1.$$

Поскольку коэффициенты $\gamma_{it}, i = \overline{1, n}$, подбираются однозначно, то

$\gamma_{it}(x) = \gamma_{it}(y), i = \overline{1, n}$. Приведенные выше рассуждения можно провести

в обратном порядке, т. е. из равенств $\gamma_{it}(x) = \gamma_{it}(y), i = \overline{1, n}$ вытекает

$E_t(x, y) = 1$. Следовательно, $E_t(x, y) = D(F_t(x), F_t(y))$, где

$F_t(x) = (\gamma_{1t}(x), \dots, \gamma_{nt}(x))$. В силу свойства непрерывности функциона-

лов $\gamma_{it}(x), i = \overline{1, n}$ непрерывны. Покажем, что они и аддитивны. Действи-

тельно, для любых $x, y \in H$ из свойств аддитивности и n -мерности вытекает

$$E_t(x, \sum_{i=1}^n \gamma_{it}(x) g_i) = 1, E_t(y, \sum_{i=1}^n \gamma_{it}(y) g_i) = 1,$$

$$E_t(x + y, \sum_{i=1}^n (\gamma_{it}(x) + \gamma_{it}(y)) g_i) = 1.$$

Единственность коэффициентов $\gamma_{it}(x + y)$ означает

$$\gamma_{it}(x + y) = \gamma_{it}(x) + \gamma_{it}(y), i = \overline{1, n}.$$

Таким образом, $\gamma_{it}(x)$ – непрерывные аддитивные функционалы над H ,

тогда по теореме Рисса [5] они представляются в виде

$$\gamma_{it}(x) = \int_0^t \beta_i(t, \tau) x(\tau) d\tau, i = \overline{1, n},$$

где функция $\beta_i(t, \tau) \in H$, при $\tau \in [0, t]$.

Заметим, что при каждом фиксированном t система функций

$\beta_i(t, \tau), i = \overline{1, n}$ линейно-независима, так как иначе нарушалась бы един-

ственность коэффициентов в свойстве n -мерности. Действительно, в про-

тивном случае для какого-либо номера $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ выполнялось бы (без ограничения общности можно считать $i=1$) равенство

$$\gamma_{it}(x) = \sum_{i=2}^n \alpha_i \gamma_{it}(x).$$

Но из рефлексивности для g_1 вытекает $E_t(g_1, g_2) = 1$, т.е. $\gamma_{1t}(g_1) = 1$ и $\gamma_{it}(g_1) = 0$, при $i = \overline{2, n}$. Указанное противоречие означает, что функционалы $\gamma_{it}(x), i = \overline{1, n}$. и функции $\beta_i(t, \tau), i = \overline{1, n}$. образуют линейно - независимые системы.

Итак, установлено, что семейство предикатов $E_t(x, y)$ представимо в виде (7), с той лишь разницей, что не доказана пока разность ядер $\beta_i(t, \tau) = \beta_i(t - \tau), i = \overline{1, n}$. Для доказательства этого факта воспользуемся свойством однородности. Выберем произвольную пару $x, y \in N$ и числа $t_2 \geq t_1 > 0$, для которых $E_{t_1}(x, y) = 1$. Тогда справедлива следующая

цепочка равенств:

$$\int_0^{t_1} \beta_i(t_1, \tau)x(\tau)d\tau = \int_0^{t_1} \beta_i(t_1, \tau)y(\tau)d\tau, i = \overline{1, n},$$

$$\int_0^{t_1} \beta_i(t_1, \tau)u(\tau)d\tau = 0, u(\tau) = x(\tau) - y(\tau),$$

$$\int_0^{t_2} \beta_i(t_2, \tau)x^*(\tau)d\tau = \int_0^{t_2} \beta_i(t_2, \tau)y^*(\tau)d\tau, i = \overline{1, n},$$

$$\int_0^{t_2} \beta_i(t_2, \tau)u^*(\tau)d\tau = 0, u^*(\tau) = x^*(\tau) - y^*(\tau),$$

(19)

но

$$\int_0^{t_2} \beta_i(t_2, \tau)u^*(\tau)d\tau = \int_{t_2-t_1}^{t_2} \beta_i(t_2, \tau)u(\tau+t_1-t_2)d\tau =$$

$$= \int_0^{t_1} \beta_i(t_2, \tau+t_2-t_1)u(\tau)d\tau = 0, i = \overline{1, n}.$$

(20)

Сравнивая соотношения (19), (20), получаем, что ядра интегральных операторов совпадают, т. е., функции $\beta_i(t, \tau)$ и $\beta_i(t_2, \tau + t_2 - t_1), i = \overline{1, n}$ пропорциональны с коэффициентом пропорциональности, в общем случае зависящим от t_1 и t_2 , другими словами

$$\beta_i(t, \tau) = c(t_1, t_2) \beta_i(t_2, \tau + t_2 - t_1), i = \overline{1, n}. \quad (21)$$

Строго говоря, справедливость последнего равенства показана для почти всех $0 \leq \tau \leq t_1$.

Возьмем произвольные $t_2 \geq t_1 > 0$ и $\tau_1, \tau_2 \geq 0$, для которых $t_2 - \tau_2 = t_1 - \tau_1$. На основании (21) можно записать

$$\beta_i(t, \tau) = c(t_1, t_2) \beta_i(t_2, \tau_1 + t_2 - t_1) = c(t_1, t_2) \beta_i(t_2, \tau_2), i = \overline{1, n}.$$

Из этого соотношения вытекает, что

$$\beta_i(t, \tau) = c(t) \beta_i(t - \tau), i = \overline{1, n}.$$

Отсюда следует представление

$$\gamma_{it}(x) = c(t) \int_0^t \beta_i(t - \tau) x(\tau) d\tau. \quad (22)$$

При любых $x, y \in H$ равенства $\gamma_{it}(x) = \gamma_{it}(y), i = \overline{1, n}$ и

$$\int_0^t \beta_i(t - \tau) x(\tau) d\tau = \int_0^t \beta_i(t - \tau) y(\tau) d\tau, i = \overline{1, n} \quad (23)$$

эквивалентны. Следовательно, для любого $t > 0$ $E_t(x, y) = 1$ тогда и только тогда, когда верно (23), что и означает справедливость теоремы.

Обсуждению вопросов экспериментальной проверки данных свойств посвящена работа [4].

Заметим, что система свойств (8)–(14) избыточна. Действительно, покажем, что симметричность и транзитивность вытекает из остальных свойств. Прежде всего заметим, что функционалы $\gamma_{it}(x)$, фигурирующие в свойстве n -мерности, непрерывны и аддитивны (а значит и линейны). Это обеспечивает справедливость следующего свойства: для любого числа $\lambda \in R^1$ и любых $x, y \in H$, для которых $E_t(x, y) = 1$, верно и $E_t(\lambda x, \lambda y) = 1$.

Пусть теперь $E_f(x, y) = 1$, кроме того, $E_f(-y, -y) = 1$. По аддитивности имеем $E_f(x-y, 0) = 1$ или, учитывая, что $E_f(-x, -x) = 1$, получим $E_f(-y, -x) = 1$, а значит $E_f(y, x) = 1$. Симметричность доказана.

Рассмотрим $x, y, z \in H$, для которых $E_f(x, y) = 1$ и $E_f(y, z) = 1$. По аддитивности $E_f(x+y, y+z) = 1$; учитывая $E_f(-y, -y) = 1$, выводим $E_f(x, z) = 1$, что означает справедливость транзитивности. Остальные свойства (8), (11)–(14) образуют несократимый набор характеристических свойств предикатов семейства (7).

Теорема 2. Свойства рефлексивности, аддитивности, непрерывности, p -мерности несократимы.

Доказательство. Рассмотрим соответствующие контрпримеры. Пусть каждый предикат семейства $E_f(x, y)$ представим в виде

$$E_f(x, y) = D(F_1f(x), F_2f(y)), \quad (24)$$

где F_1, F_2 – линейные операторы проектирования из H в R^n . Очевидно, что данное семейство предикатов не рефлексивно, однако выполняются свойства аддитивности, p -мерности, непрерывности. Следовательно, рефлексивность не следует из данных свойств.

Допустим, что семейство (7) имеет вид

$$E_f(x, y) = D(F_1f(x), F_1f(y)). \quad (25)$$

Легко заметить справедливость рефлексивности, непрерывности и аддитивности, в то же время p -мерность не выполняется, так как не существует конечного набора функций $\{g_1, g_2, \dots, g_n\} \in H$, для которых при любой $x \in H$

$$x = \sum_{i=1}^n \gamma_{ii}(x) g_i.$$

Рассмотрим семейство предикатов вида

$$E_f(x, y) = D(F_1f(x), F_1f(y)), \quad (26)$$

где F_1 – аддитивный, но не непрерывный оператор проектирования H в R^n . Существование данного оператора показано в работе [6]. В таком случае рефлексивность, p -мерность и аддитивность выполняется, а непрерывность – нет.

Если в семействе предикатов (26) в качестве F_1 взять непрерывный нелинейный оператор проектирования H в R^n , то свойства рефлексивности, p -мерности и непрерывности будут выполняться, а аддитивности – нет.

Свойство однородности определяет разностность ядер интегральных операторов и поэтому не зависит от остальных свойств.

3. Выводы. Таким образом, получена система в результате экспериментальной проверки характеристических свойств (8)–(14), которая ак-

сиоматически задает вид предикатов семейства (7). Это позволяет осуществить процедуру структурной идентификации линейной системы в случае, если она представима в виде линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами. Для идентифицируемой системы можно гарантировать, что она имеет структуру (6), или, что эквивалентно, структуру (3), т. е. представима в виде линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами. Зная теперь структуру модели, можно перейти к определению коэффициентов уравнения, т. е. к решению задачи параметрической идентификации.

Список литературы: 1. Шабанов–Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. Х.: Вища шк., 1987. 160 с. 2. Шабанов–Кушнарченко Ю.П., Шляхов В.В. Характеристические свойства линейных предикатов в гильбертовых пространствах // Докл. АН УССР, Сер. А. Физ.–мат. и техн. науки, 1990. N11. С. 71–74. 3. Герасин С.Н., Шляхов В.В. Идентификация динамических систем, описываемых дифференциальными операторами с постоянными коэффициентами методом сравнения // АСУ и приборы автоматики. 1989. Вып. 92. С. 98–102. 4. Gerasin S.N., Sabanov–Cushnarenko J.P. Mathematical Model of Processes of Sight Dynamics // 1 International conference on information technologies for image analysis, Lviv, 1990. P.31-36. 5. Комогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1977. С. 412. 6. Гелбаум Б., Олмстед Дж. Контрпримеры в анализе. М.: Мир, 1967. 251 с.

Поступила в редколлегию 25.09.98

В.И. ХАХАНОВ
**ТЕХНОЛОГИИ УСЛОВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

1 Алгоритм обратного прослеживания

Представленный ниже алгоритм условного диагностирования, не дифференцируемый строго на процедуры контроля и поиска дефектов, описывается обобщенным уравнением диагноза:

$$F^*(F, T, D) \mid_{F, T, g^*} = \cup_i (g(T, F) \cap g^*(T, F, D_i)) = \emptyset,$$

где g, g^* – эталонная и экспериментальная реакции наблюдаемых линий цифрового устройства (ЦУ); F, T, D – функционал, проверяющий тест, наперед заданные дефекты.

Использование сигнатурного анализа [1,2] определяет элементарную проверку $P_i = g^*(T, F, D_i)$ как получение сжатой реакции при подаче проверяющего теста T на выбранном наблюдаемом контакте i схемы. Проверка P_i считается положительной, если в точке контроля i эталонная сигнатура, вычисленная при отсутствии неисправностей в схеме, равна экспериментальной: $S_M = S_R$. Если же $S_M \neq S_R$, проверка P_i отрицательная. В общем случае идентификация проверки определяется выражением

$$P_i = \begin{cases} P_i^+ \Leftarrow [g^*(T, F, D_i) \cap g(T, F) = g(T, F)]; \\ P_i^- \Leftarrow [g^*(T, F, D_i) \cap g(T, F) = \emptyset]. \end{cases}$$

Точкой контроля i является внешний контакт примитива, микросхемы, типового элемента замены (ТЭЗ), цифрового устройства. Два логических исхода проверки задают альтернативные пути поиска дефекта или определения технического состояния объекта:

$$D_s = \begin{cases} \{D_0, D^+\} \Leftarrow P_i = P_i^+; \\ D^- \Leftarrow P_i = P_i^-, \end{cases}$$

где $D_s = D_0 \cup D$; $D^+ \cup D^- = D$; $D^+ \cap D^- = \emptyset$; D_0 – исправное техническое состояние; D – предполагаемая область существования дефектов; D^+ (D^-) – область неисправностей, определяемая положительной (отрицательной) проверкой P^+ (P^-).

Поэтому алгоритм диагностирования методом обратного прослеживания является условным и зондовым, он использует сигнатурный логический анализатор. Длительность и стоимость выполнения условного диагностического эксперимента на порядок выше, чем у безусловного. В отличие от метода половинного деления [1,3] он ориентирован на поиск не

только логических дефектов, но и на обнаружение разрывов линий. Стратегия обратного прослеживания неисправности по структуре объекта, связанная с введенным классом макродефектов, изначально была ориентирована на последовательное выполнение проверок линий функционально-логического подграфа [4] в целях восстановления работоспособности цифрового модуля на стадии производства или эксплуатации при использовании в качестве средства диагностирования "ложа из гвоздей" или автоматического зонда [5].

Диагностическая модель устройства представлена графом функционально-гальванических связей контактов микросхем и ЦУ:

$$G = \{L_{ij} \in L, F_{tr}^k \in F\},$$

где L_{ij} – (дуга) гальваническое отношение одного потенциала между контактами различных конструктивов или примитивов; F_{tr}^k – (дуга или дуги F_{tr}^k k-го ПЭ) функциональное отношение между входной t и выходной r переменной. Для построения алгоритма диагностирования необходимы: полный проверяющий тест относительно одиночных константных неисправностей T , эталонные сигнатуры S_{tr} всех внешних контактов микросхем и ТЭЗа, граф функционально-гальванических связей F^G цифрового модуля:

$$W = \{G, T, S_M\}.$$

Чтобы приблизить модели неисправностей к реальным, введем следующие типы состояний объекта:

$$D_S = \{D_0, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5\},$$

где D_0 – исправное состояние объекта, определяется совпадением $S_M = S_R$ по всем выходным контактам устройства:

$$D_0 \Leftarrow [g(T, F) \cap g^*(T, F, D_i) = g(T, F)];$$

D_1 – отсутствие гальванической связи между контактами различных микросхем:

$$D_1 \Leftarrow [S_M(L_i) = S_R(L_i) \& S_M(L_j) \neq S_R(L_j)];$$

D_2 – неисправность на выходе k-го элемента или внутри его:

$$D_2 \Leftarrow \{\forall t[S_M(F^k_t) = S_R(F^k_t)] \& \exists r[S_M(F^k_r) \neq S_R(F^k_r)]\};$$

D_3 – отсутствие связи между входом и шиной константы $\equiv 0, \equiv 1$:

$$D_3 \Leftarrow [S_M(\{\equiv 0, \equiv 1\}) = S_R(\{\equiv 0, \equiv 1\}) \& S_M(L_j = \{\equiv 0, \equiv 1\}) \neq S_R(L_j)];$$

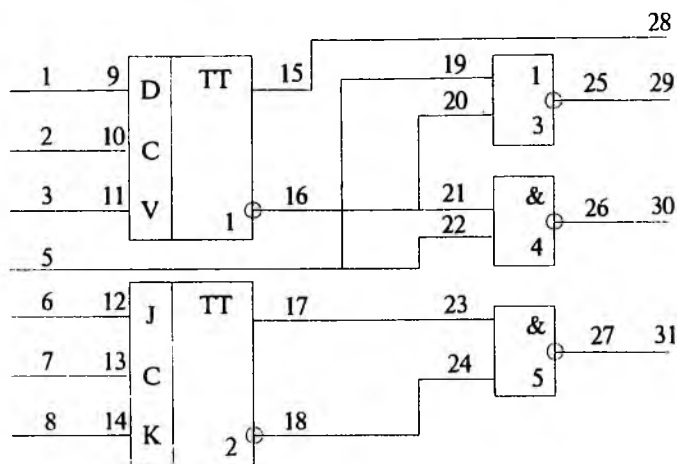
D_4 – неисправность внешнего входного контакта цифрового объекта:

$$D_4 \Leftarrow [S_M(L_i) \neq S_R(L_i) \& S_M(L_j) \neq S_R(L_j)];$$

D_5 – неисправность выходов, объединенных в монтажную логику:

$$D_5 \Leftarrow \{\forall i[S_M(L_i) \neq S_R(L_i)] \& [S_M(L_j) \neq S_R(L_j)]\}.$$

Построим алгоритм поиска дефектов методом обратного прослеживания для схемы, изображенной на рисунке.



Априорно все доступные контакты идентифицируются порядковыми номерами или топологическими идентификаторами (координата микросхемы, номер ножки). Последовательность диагностирования контактов на топологии схемы определяется двумя направлениями: справа-налево – при отрицательной проверке; снизу-вверх – при положительной. (Направления могут быть и другими). Такая стратегия задает в качестве очередной точки контроля при отрицательной проверке P_i^- на выходе элемента его первый нижний входной контакт.

При фиксации положительного результата P_i^+ на входном контакте примитива очередная точка контроля задается расположенной выше входной ножкой. Если в последнем случае проверка отрицательная, очередная точка контроля определяется выходным контактом элемента, связанного с рассматриваемым входом. Если в диагностическом эксперименте рассматривается очередная точка контроля P_i , не являющаяся выходным контактом схемы, то все предыдущие проверки линий-преемников имели отрицательный результат.

Для предложенного примера построенный алгоритм диагностирования представлен в таблице.

P_i	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
P_i^+	30	29	28	D_0	D_1	D_1	D_1	23	D_2	21	D_2	19	D_2	D_1	D_1
P_i^-	27	26	25	15	24	22	20	18	17	5	16	16	5	14	14
Sign	21FE	31FE	41FE	51FE	21FE	31FE	41FE	11F4	1133	11F1	1110	1110	11F1	11F4	1133
P_i	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	3	2	1
P_i^+	D_1	D_1	13	12	D_2	10	9	D_2	D_1	D_1	D_1	D_1	D_1	D_1	D_1
P_i^-	11	11	8	7	6	3	2	1	D_4	D_4	D_4	D_4	D_4	D_4	D_4
Sign	1110	51FE	115E	110E	133E	11HE	11PE	13FE	115E	110E	133E	11F1	11HE	11PE	13FE

Первой точкой контроля является контакт 31. Он имеет эталонную сигнатуру $S_M=21FE$. (Все другие контакты также имеют собственные сигнатуры.)

Результат сравнения эталонной и экспериментальной сигнатур формирует точки контроля на следующем шаге диагностирования при двух альтернативах: P^+ – проверка положительная, P^- – проверка отрицательная.

Состояние D_0 фиксируется, если все выходы дают положительную проверку; D_1 – на гальванической связи зафиксирована положительная проверка при отрицательной предыдущей; D_2 – при отрицательной проверке на выходе все входы имеют положительный результат сравнения сигнатур; D_3 – отрицательная проверка на входе, связанном с шинами $\equiv 0, \equiv 1$; D_4 – отрицательная проверка на внешнем входе цифрового устройства.

Таблица поиска дефектов имеет число строк, равное количеству наблюдаемых контактов, и позволяет осуществлять диагностический эксперимент в диалоговом режиме без наличия принципиальной электрической схемы объекта. Функции оператора при неавтоматическом диагностировании заключаются в инициализации команд для подачи теста, установке зонда сигнатурного анализатора в координату точки контроля, высвечиваемой на дисплее, принятии окончательного решения о состоянии объекта.

Диагностирование (см. таблицу) продемонстрируем на примере разрыва связи между контактами 8 и 14. Проверка начальной координаты 31 дает отрицательный результат, что определяет очередной точкой контроля контакт 27. Его проверка имеет отрицательное значение, следовательно, переходим на координату 24. Далее фиксируем отрицательные проверки на линиях 18, 14, после чего на контакте 8 получаем положительный результат. Вывод: техническое состояние D_1 – нет связи между контактами 8 и 14.

1.1 Процедура структурного анализа

Применение алгоритма обратного прослеживания для поиска дефектов на стадии эксплуатации цифровых модулей связано с уменьшением количества точек контроля при установлении диагноза. В этом случае необходимо выполнять структурный анализ схемы относительно элементарных проверок внешних выходов. Если в схеме предполагается одиночный (кратный) макродефект, неисправность ограничивается областью G^{\cap} (G^{\cup}), получаемой пересечением (объединением) подсхем G_j , относящихся к тем наблюдаемым выходам L_j^Y , на которых зафиксированы отрицательные результаты проверки [6]:

$$G^{\cap} = \bigcap_j \{ \cap G_j \leftarrow [S_M(L_j^Y) \neq S_R(L_j^Y) | j=1, m] \}; \quad (1)$$

$$(G^{\cup} = \bigcup_j \{ \cup G_j \leftarrow [S_M(L_j^Y) \neq S_R(L_j^Y) | j=1, m] \}), \quad (2)$$

где G_j – подграф внутренних точек контроля схемы, являющихся предшественниками для линии L_j^Y ; m – число внешних выходов схемы. Ограничение наличия в схеме одиночного дефекта является достаточно сильным, поэтому должны существовать весомые аргументы, чтобы его принять.

Для теста, активизирующего проверку каждого одиночного дефекта на всех выходах ЦУ, подозреваемая область при наличии одиночного (кратного) дефекта определяется разностью между подграфами с отрицательными и положительными по выходам результатами испытаний:

$$G = G^{\cap} \forall j \{ \cup G_j \Leftarrow [S_M(L_j^Y) = S_R(L_j^Y)] j=1,m \},$$

$$(G = G^{\cup} \forall j \{ \cup G_j \Leftarrow [S_M(L_j^Y) = S_R(L_j^Y)] j=1,m \}).$$

Поскольку проектирование теста, активизирующего каждый из дефектов до всех наблюдаемых выходов, задача дорогостоящая, на практике для уменьшения подозреваемой области следует пользоваться выражениями (1) или (2).

Пример. Пусть существует одиночный дефект $D_1(10,2)$, который при диагностировании внешних выходов проявился на линиях 28 и 30.

В случае разрыва связи между линиями 2 и 10 (см. рисунок) последовательность выполнения проверок по таблице без структурного анализа имеет стоимость

$$(P_{30}^-, P_{26}^-, P_{22}^+, P_{21}^-, P_{16}^-, P_{11}^+, P_{10}^-, P_{2}^+) \Rightarrow D_1(10,2).$$

С использованием структурного анализа подозреваемая область определяется подграфом линий:

$$G = G_{28} \cap G_{30} = \{L_1, L_9, L_2, L_{10}, L_3, L_{11}\}.$$

Стоимость диагностирования, равная числу элементарных проверок для установления диагноза на подграфе G , определяется последовательностью

$$(P_{11}^-, P_{10}^-, P_{2}^+) \Rightarrow D_1(10,2),$$

что в 2,6 раза меньше базового алгоритма обратного прослеживания без структурного моделирования результатов сравнения эталонных и экспериментальных сигнатур по наблюдаемым выходам схемы.

2 Алгоритм половинного деления

Для изложения стратегии половинного деления введем вектор моделирования неисправной области $M = (M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_n)$, где n – общее число точек контроля цифрового модуля. Подмножество наблюдаемых выходных контактов устройства обозначим в виде $M^Y \subset M$, $M^Y \neq \emptyset$. Значение координаты вектора $M_i \in M$ формируется в соответствии с выражением

$$(M_i = 1) \Leftarrow [S_M(L_i) \neq S_R(L_i) \& S_M(L_j^Y) \neq S_R(L_j^Y) \& L_j^Y = f(L_i)];$$

в противном случае – $M_i = 0$.

В результате диагностического эксперимента по наблюдаемым выходам формируется подмножество $M^Y \subset M$ вектора моделирования:

$$M_i^Y = \begin{cases} 1 \Leftarrow S_M(L_i^Y) \neq S_R(L_i^Y); \\ 0 \Leftarrow S_M(L_i^Y) = S_R(L_i^Y). \end{cases} \quad (3)$$

Для $M^Y \subset M$ вычисляется подграф точек контроля цифровой схемы $M' \subseteq M$, неисправные сигнатуры которых могут сформировать определен-

ное по (3) подмножество $M^Y \subset M$. Построение вектора моделирования неисправной области M для вычисленного подмножества $M^Y \subset M$ с использованием графа цифровой схемы основано на следующих правилах.

2.1 Процедура структурного моделирования

1. Состояния наблюдаемых линий определяются в соответствии с выражением (1) и не могут быть модифицированы с помощью двух следующих правил (пункты 2 и 3).

2. Входные контакты примитива t подозреваются неисправными, если существует выходной дефектный контакт: $(\forall i(M_i(X_i) = 1) \Leftrightarrow (\exists i(M_i(Y_i) = 1))$.

3. При различных технических состояниях (исправное и неисправное) входов одного потенциала разных примитивов t и f значение линии разветвления подозревается дефектным: $M_i = M_i(X_i) \vee M_i(X_f)$.

С учетом приведенных правил процедуры структурного моделирования и вычисленного подмножества $M^Y \subset M$ алгоритм определения состояний невыходных координат вектора моделирования неисправной области M заключается в последовательной обработке примитивов ациклической схемы методом обратного прослеживания от внешних выходных контактов схемы ко входным.

Для примера, представленного на рисунке, продемонстрируем выполнение процедуры структурного моделирования, исходя из условия, что

$$M^Y = \{M_{28} = 1, M_{29} = 0, M_{30} = 1, M_{31} = 0\}.$$

Результат моделирования на основе выполнения правил 2 и 3 дает вектор единичных переменных:

$$M = (1 \ 2 \ 3 \ 5 \ 9 \ 10 \ 11 \ 15 \ 16 \ 21 \ 22 \ 26 \ 28 \ 30).$$

На подграфе $G'(M)$, который представлен матрицей $Q = \|Q_{ij}\|$, организуется условный диагностический эксперимент с выбором точки контроля, делящей подозреваемую область пополам.

2.2 Процедура выбора контрольной точки

Чтобы изложить стратегию выбора очередного контакта при зондировании схемы, количество единичных координат в вектор-строке предшественников для точки контроля i матрицы $Q = \|Q_{ij}\|$ достижимостей обозначим через $A_i = \text{card}(Q_{ij})_{j=1,n}$; в вектор-столбце преемников – через $B_i = \text{card}(Q_{ji})_{j=1,n}$. Определим также множество точек контроля предшественников и преемников в виде $\{A_i\}$, $\{B_i\}$. Тогда при стратегии выбора контрольной точки, делящей подозреваемую область пополам, необходимо максимизировать по параметру i выражение $(A_i + B_i)/n$ (n – мерность матрицы Q , соответствующей подграфу $G'(M)$), которое показывает мощность делимого подграфа $(A_i + B_i)$ по отношению к исходному $G'(M)$. Кроме того, минимизация разности предшественников и преемников точки контроля i $(A_i - B_i)/n$ показывает точность половинного деления структуры $G'(M)$. В результате получаем функционал

$$f = \text{MAX}_i [(A_i + B_i)/n - (A_i - B_i)/n] = \text{MAX}_i [(2/n)(B_i)]. \quad (4)$$

После выполнения элементарной проверки на линии P_{16} область подозреваемых дефектов определяется вектором переменных $M(P_{16}) = (1\ 2\ 3\ 9\ 10\ 11\ 16)$, для которого подграф цифровой схемы задается уже в виде матрицы

$$Q(P_{16}) = \begin{pmatrix} & 1 & 2 & 3 & 9 & 10 & 11 & 16 \\ 1 & 1 & & & & & & \\ 2 & & 1 & & & & & \\ 3 & & & 1 & & & & \\ 9 & 1 & & & 1 & & & \\ 10 & & 1 & & & 1 & & \\ 11 & & & 1 & & & 1 & \\ 16 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вычисление функционала f по данной матрице дает очередную точку контроля P_9 , в которой фиксируется положительная проверка, определяющая область существования дефекта в виде вектора линий:

$$M(P_9) = M(P_{16}) \setminus \{B_9\} = (1\ 2\ 3\ 9\ 10\ 11\ 16) \setminus \{1, 9\} = (2\ 3\ 10\ 11\ 16).$$

Данной области неисправных линий соответствует матрица

$$Q(P_9) = \begin{pmatrix} & 2 & 3 & 10 & 11 & 16 \\ 2 & 1 & & & & \\ 3 & & 1 & & & \\ 10 & 1 & & 1 & & \\ 11 & & 1 & & 1 & \\ 16 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

по которой вычисление функционала f определяет следующей точкой контроля P_{10} . Элементарная проверка в P_{10} дает отрицательный результат, что позволяет вычислить по (6) область дефектов:

$$M(P_{10}) = \{A_{10}\} = (2, 10).$$

Очередная проверка на линии P_2 дает положительный результат, что является основанием для диагноза – неисправность $D_1(10,2)$.

Таким образом, процедура диагностирования наперед заданного дефекта $D_1(10,2)$ имеет стоимость, определяемую четырьмя проверками:

$$(P_{16}^-, P_9^+, P_{10}^-, P_2^+) \Rightarrow D_1(10,2),$$

что только на одну больше, чем при структурном анализе, и это естественно, поскольку процедура структурного моделирования ориентирована на поиск как одиночных, так и кратных дефектов.

Предложенные алгоритмы реализуют условное диагностирование макродефектов на основе использования процедур: структурного анализа и структурного моделирования, а также методов: обратного прослеживания и половинного деления подозреваемой области, когда очередная точка контроля при анализе матрицы достижимостей вычисляется по критерию MAXMINa.

Выборочная статистика (на девяти схемах) числа зондирований для установления диагноза дефекта D_1 на одном из входов ЦУ дает среднюю оценку относительного уменьшения количества точек контроля, равную

$$q = \text{card}(\text{АОП}_6) / \text{card}(\text{АОП}_c) = 2,75.$$

Список литературы: 1. *Ярмолик В.Н.* Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ. Минск: Наука и техника, 1989. 234с. 2. *Гордон Д., Надиг Х.* Локализация неисправностей в микропроцессорных системах при помощи шестнадцатеричных ключевых кодов // *Электроника*. 1977. № 5. С.23-33. 3. *Пархоменко П.П., Согомонян Е.С.* Основы технической диагностики (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / Под ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1981. 320 с. 4. *Кривуля Г.Ф., Кизуб В.А., Коновалов В.Б., Хаханов В.И.* Автоматизированная система диагностирования цифровых модулей // *Электронное моделирование*. 1987. №2. С.57-61. 5. *Байда Н.П., Кузьмин И.В., Шпилевой В.Т.* Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования. М.: Радио и связь, 1987. 256 с. 6. *Хаханов В.И.* Техническая диагностика элементов и узлов персональных компьютеров. К.: ИЗМН. 1997. 308 с.

Поступила в редколлегию 12.10.98

А.Л. ЕРОХИН

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ АВАРИЯХ В ЭНЕРГОСЕТЯХ

Современные энергосистемы принадлежат к крупнейшим потребителям и производителям оперативной информации. Для управления энергосетями используются автоматизированные системы управления производством и потреблением. Такие системы обычно организованы иерархически. Они состоят из удаленных терминалов, линий связи и разноуровневых систем машинной обработки данных. К объектам энергосетей относятся: электростанции, линии электропередач, подстанции, потребители энергии.

В масштабах региона в задачи таких систем входит: управление производством электрической энергии; преобразование энергии, распределение между потребителями, передача потребителю, учет потребления, контроль оборудования; продажа электроэнергии в другие регионы [1].

При распределении электрической энергии в энергосетях используются системы поддержки принятия решений, но окончательное решение остается за высококвалифицированными диспетчерами. Однако, как показала практика, существующие системы неспособны решать задачи при авариях в энергосетях [2,3].

С появлением на рынке компьютеров современных промышленных контроллеров стало возможным создавать надежные и экономичные автоматизированные системы управления энергетическими объектами, способные осуществлять реальную поддержку принятия решений.

Управление ресурсами в энергосетях в реальном масштабе времени включает следующие задачи:

- 1) прогнозирование нагрузки;
- 2) оптимизация режимов энергопотребления;
- 3) диагностика аварии;
- 4) ведение журнала аварий и ремонта;
- 5) принятие решения об устранении аварии;
- 6) перераспределение нагрузки в аварийных режимах;
- 7) прогнозирование аварийных ситуаций в энергосистеме;
- 8) анализ причин аварии и выработка мер по их предотвращению.

В настоящее время большинство процессов, протекающих в штатных режимах, автоматизировано. Вмешательство диспетчера требуется редко (для решения некоторых задач вручную). По-другому обстоит дело в нештатных ситуациях. При обнаружении факта аварии используется система сбора и сохранения информации, а программное обеспечение, рабо-

тающее в штатных условиях, оказывается бесполезным. Даже при проведении регламентных работ на атомных станциях обычно диспетчеры выполняют перераспределение нагрузок системы.

При внезапном выходе из строя электросетевого оборудования именно диспетчер оценивает ситуацию и принимает решение о путях оперативно-го устранения причин аварии, о перераспределении нагрузки или отключении потребителей.

Основные действия диспетчера в момент аварии заключаются в диагностике и принятии решения. Успех в принятии оптимального решения в значительной степени зависит от опыта диспетчера и умения адекватно реагировать на непредвиденные обстоятельства. Поведение человека в таких ситуациях в основном определяется наличием опыта действий в сходных условиях и использованием эвристической логики, соотносящей данную сложную ситуацию с уже известными событиями прошлого. Кроме того, существует риск превышения барьера восприятия человека [1].

Рассмотрим подробнее задачи управления энергосетями.

Прогнозирование нагрузки. Нагрузка системы выражается суммой нагрузок всех отдельных потребителей энергии во всех узлах энергосистемы. График нагрузки системы можно в принципе определить, зная график нагрузки каждого отдельного потребителя энергии. Однако величина потребления энергии каждого потребителя может изменяться из-за непредвиденных обстоятельств.

На поведение нагрузки системы влияют следующие факторы: экономические, временные, погодные, случайные. К экономическим факторам относятся тарифная политика, уровень жизни населения, уровень производства и др. Временные факторы – это сезонные изменения, выходные и праздничные дни. Погодные факторы связаны с метеорологическими условиями.

Задача оптимизации режимов энергопотребления заключается в определении того, какие генерирующие части энергосистемы должны быть включены и могут нести нагрузку (в определении диспетчерского графика нагрузки). Распределение нагрузки имеет большое экономическое значение. Постановка задачи распределения нагрузки существенно различается в разных энергосистемах и зависит от структуры генерирующих мощностей и конкретных эксплуатационных ограничений.

Задача диагностики фактически зачастую сводится к обработке данных в аварийной ситуации. При серьезной аварии в энергосистеме диспетчер может быть перегружен аварийными сообщениями. Поскольку многие сообщения при этом оказываются избыточными или несут информацию, относящуюся к одному и тому же событию, диспетчер может не сразу точно определить, что произошло. Для регистрации электрических собы-

тий в последнее время применяются цифровые аварийные осциллографы (регистраторы аварийных состояний).

Перераспределение нагрузки в аварийных режимах связано с коммутационными операциями. Согласно статистике, около 40% задач, решаемых в диспетчерском центре энергосистемы, связаны с действиями выключателей и линейных разъединителей [1].

Управление восстановительными операциями. В энергосистеме могут происходить крупные аварии. То обстоятельство, что аварии происходят редко, только усложняет работу диспетчера, поскольку его опыт в решении вопросов восстановления нормального режима энергосистемы ограничен. Вследствие этого во многих центрах управления имеются планы проведения восстановительных действий.

Сформулируем задачу в терминах экспертных систем [4]. Будем различать в данной предметной области следующие типы знаний: понятийные, конструктивные, процедурные, фактографические и метазнания.

Понятийные знания – это набор понятий, которыми пользуются при решении конкретной задачи. Они обычно являются продуктом фундаментальных наук или теоретических разделов прикладных наук. К конструктивным относятся знания о наборах возможных структур объектов энергетики и взаимодействии между их частями. Эти знания продуцируют прикладные науки, занимающиеся электроэнергетикой. Процедурные знания – это методы и средства, алгоритмы и программы, применяющиеся для получения оптимизированного решения при аварии в энергетике. Программное обеспечение современной системы принятия решений в аварийной ситуации должно содержать такие подсистемы:

1) принятия решения о факте предаварийной ситуации или аварии. Она основана на сравнении в реальном масштабе времени кодов сигналов энергосистемы и кодов, хранящихся в оперативной памяти;

2) накопления кодов аварий и кодов предаварийных состояний. Эта информация является ценной для развития экспертной системы;

3) выработки сценария ликвидации предаварийной ситуации или аварии.

К фактографическим знаниям относятся количественные и качественные характеристики объектов энергетики и явлений. Метазнания – это знания о порядке и правилах применения указанных выше знаний. Модель данной предметной области состоит из совокупности понятийных и конструктивных знаний. Базу знаний составляет модель предметной области, процедурные знания, фактографические и метазнания.

Применение инструментальных геоинформационных систем (ГИС) позволит ускорить и упростить этапы создания систем поддержки принятия решений. К этапам создания ГИС принятия решений относятся: иден-

тификация (определение проблемы, ресурсов, целей, экспертов, производится неформальное (вербальное) описание проблемы); концептуализация (выделение ключевых понятий системы, отношений и характеристик); формализация проекта (выражение введенных понятий на формальном языке); выполнение проекта (создание ГИС-системы); тестирование; опытная эксплуатация (проверка пригодности ГИС-проекта для конечного пользователя); модификация проекта.

Американская компания Boston Edison разработала и использует профессиональную AM/FM ГИС, предназначенную для улучшения обслуживания пользователей электросетями[5]. Система CADIMAGE (Computer Aided Distribution Information Management and Graphics Editor) построена с использованием программных продуктов известной фирмы ESRI и базируется на ARC/INFO. Компания Boston Edison - это одна из старейших электрических и телекоммуникационных компаний в США, существующая более 100 лет и обслуживающая сегодня больше 650000 клиентов на площади свыше 600 кв. миль. Инфраструктура электрических сетей компании Boston Edison включает 210000 электрических столбов, 52000 трансформаторов, 7500 миль подземного кабеля и 14500 миль воздушных линий.

Компания разработала ГИС-систему, чтобы дать своим сотрудникам технологическое средство для работы на уровне высоких стандартов производительности, надежности и безукоризненного обслуживания пользователей коммуникаций, чтобы облегчить обслуживание, ремонт и диспетчеризацию электрических сетей. Одной из ключевых является подсистема Trouble Information Mapper, ответственная за отображение нарушений на электролиниях и реагирование на запросы пользователей одновременно в главном центре приема вызовов, центре управления энергетическими сетями, а также во всех пунктах пользовательской службы на всей обслуживаемой компанией территории. Пользователи могут легко и быстро связаться с диспетчерами и ремонтными бригадами, а также получить исчерпывающую графическую, текстовую и сопутствующую информацию, что оптимизирует обслуживание и ремонт оборудования, значительно повышает эффективность обслуживания потребителей.

В настоящее время многим предприятиям, связанным с инженерными коммуникациями, ГИС необходима как технологическое решение, нацеленное на тотальную перестройку трех основных процессов: строительство, управление коммуникациями и оборудованием, а также эксплуатация сетей. Кроме того, продвинутая ГИС-технология необходима не только для работы непосредственно с коммуникациями, но и для управления работами по распределенному строительству, рассылке уведомлений, учету простоев, а также для службы маркетинга, экологического подразделения и т.д. Многие предприятия отказываются от создания ГИС-уровня пред-

принятия и готовы включиться в ГИС-перестройку бизнес-процесса и совершенствования процедур управления информацией.

Разработка ГИС-систем поддержки принятия решений позволит повысить оперативность распознавания аварийного события и скорость устранения аварии, отказаться от услуг избыточного количества экспертов, эффективно выявить причину аварии, виновников ее, обеспечить оперативное переключение потребителей энергоснабжения и не допустить отказа всей энергосистемы. Своевременное обнаружение процессов нарастания аварии позволит вовремя спланировать и осуществить перетоки мощностей или отключить аварийные части энергосистемы, уменьшить убытки от аварии и предотвратить развал энергосистемы страны.

Список литературы: 1. *Kamstrup J., Klitko A. and others. Ukraine: Energy & Economy.* EC Energy Centre in Kiev, 1996. 128 p. 2. *Ерохин А.Л.* Распознавание аварийных ситуаций в энергосистемах // Пробл. бионики. 1998. Вып. 49. С. 67-71. 3. *ЭВМ в управлении энергосистемами.* Темат. вып. / Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 173 с. (Труды Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике; Т. 75, N 12). 4. *Уотермен Д.* Руководство по экспертным системам / Пер. с англ. / Под ред. В.Л. Стефанюка. М.: Мир, 1989. 280 с. 5. *Программно-аппаратное обеспечение, фонд цифрового материала, услуги и нормативно-правовая база геоинформатики.* Ежегодный обзор. Вып.3. Том 1. (1996-1997). Приложение к «Информационному бюллетеню» ГИС-ассоциации. 1998. 206 с.

Поступила в редколлегию 19.02.99

В.В. БЕСКОРОВАЙНЫЙ
**КОМПАРАТОРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ
ВЕКТОРОВ ПРЕДПОЧТЕНИЙ
В МОДЕЛЯХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА**

Одной из актуальных проблем моделирования интеллектуальной деятельности человека является создание моделей процессов выбора решений, базирующихся на теории интеллекта [1] и теории принятия решений [2]. Практическая значимость таких моделей обусловлена необходимостью повысить степень автоматизации процедур выбора решений в системах планирования, управления, проектирования. Важнейшим при формализации процесса выбора решений из множества альтернатив является определение метрики для их ранжирования. В качестве методологической основы для построения метрики традиционно используется теория полезности, в соответствии с которой для каждой из альтернатив u из допустимого множества X может быть определено значение ее полезности (ценности) $P(u)$. При этом, например, $u > v \leftrightarrow P(u) > P(v)$; $u \sim v \leftrightarrow P(u) = P(v)$, $u, v \in X$.

В моделях многокритериального выбора наиболее часто применяются метрики, построенные на основе аддитивной полезности:

$$P(u) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \xi_i(u), \quad (1)$$

где $P(u)$ – полезность альтернативы u ; n – количество частных критериев (факторов выбора); λ_i – i -я координата вектора предпочтений λ (коэффициент, характеризующий степень важности критерия k_i), при этом $\sum_i \lambda_i = 1$, $\lambda_i \geq 0$; $\xi_i(u) = \xi_i(k_i(u))$ – функция полезности критерия k_i .

Если известен вид всех функций полезности $\xi_i(u)$, $i = \overline{1, n}$ и определен вектор предпочтений λ , то выбор для аддитивной схемы (1) обычно сводится к задаче оптимизации вида

$$u^0 = \arg \max_{u \in X} P(u). \quad (2)$$

Предположим, что определены функции полезности $\xi_i(u)$ для всех частных критериев k_i , $i = \overline{1, n}$. Среди семейства функций полезности выделяется функция вида [3]

$$\xi_i(u) = \left(\frac{k_i(u) - k_{i_{\text{нх}}}}{k_{i_{\text{нл}}} - k_{i_{\text{нх}}}} \right)^{\alpha_i} \quad (3)$$

где $k_i(x)$ – значение i -го частного критерия для решения u ; $k_{i_{\text{нл}}}, k_{i_{\text{нх}}}$ – наилучшее и наихудшее значения i -го критерия; α_i – коэффициент, определяющий вид зависимости. При $\alpha_i = 1$ имеет место линейная зависимость, при $0 < \alpha_i < 1$ – выпуклая вверх, при $\alpha_i > 1$ – выпуклая вниз зависимости. Эти формы отражают соответственно безразличие, уклонение и стремление к риску лица, принимающего решения (ЛПР). Вид универсальной функции полезности и метод идентификации ее параметров можно найти в [4].

Для приведения многокритериального выбора к задаче оптимизации (2) достаточно определить элементы вектора предпочтений λ . Традиционно последняя задача решается экспертным путем методами непосредственной оценки, ранжирования, последовательных предпочтений, парных сравнений. К недостаткам экспертных методов относят высокую трудоемкость, субъективизм, относительно невысокую точность оценок. Преодолеть их можно, используя для оценки компонент вектора предпочтений λ информацию о фактах выборов ЛПР среди альтернатив $u, v \in X$ [3]. Этот подход, называемый бихевиористическим, базируется на методе компараторной идентификации [1].

Суть этого метода применительно к задаче оценки векторов предпочтений состоит в следующем [5]. ЛПР воспринимает в процессе выбора пару альтернативных вариантов $u, v \in X$, которые формируют в его сознании субъективные оценки их полезности x и z . Схема компараторной идентификации для рассматриваемой задачи может быть представлена в виде некоторого объекта S . Отличительной особенностью такой задачи считается то, что выходные сигналы элементов $x = P(u)$ и $z = P(v)$ являются внутренними сигналами объекта S и не могут быть определены в ходе эксперимента (выбора ЛПР). Они анализируются компаратором F с выдачей выходного сигнала:

$$z = F(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x, y) \in R(X); \\ 0, & \text{если } (x, y) \notin R(X), \end{cases} \quad (4)$$

где $R(X) \subseteq X \times X$ – соответствующее отношение на множестве X : эквивалентности $R_E(X) = \{(x, y) : x, y \in X, x \sim y\}$; строгого предпочтения $R_S(X) = \{(x, y) : x, y \in X, x \succ y\}$; нестрогого предпочтения $R_N(X) = \{(x, y) : x, y \in X, x \succeq y\}$.

Если в результате сравнения альтернативных вариантов сформировано некоторое отношение $R(X)$, то определение вектора предпочтений λ может быть сведено к решению системы линейных уравнений или неравенств.

Наиболее информативным является отношение эквивалентности. Для отношения эквивалентности $R_E(X)$ из условия $P(u) = P(v)$, $(u, v) \in R_E(X)$ получим систему, включающую $m+1$ линейное уравнение

$$\eta_j(\lambda) \equiv \sum_i [\xi_i(v) - \xi_i(u)] \lambda_i = 0, \quad (u, v) \in R_E(X), \quad j = \overline{1, m}, \quad (5)$$

$$\eta_{m+1}(\lambda) \equiv \sum_i \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \geq 0, \quad i = \overline{1, m+1},$$

где m – мощность отношения $R_E(X)$.

Для отношений строгого $R_S(X)$ и нестрогого $R_N(X)$ предпочтений получим соответственно системы линейных неравенств и нормирующих условий:

$$\eta_j(\lambda) \equiv \sum_i [\xi_i(v) - \xi_i(u)] \lambda_i < 0, \quad (u, v) \in R_S(X), \quad j = \overline{1, k}, \quad (6)$$

$$\eta_{k+1}(\lambda) \equiv \sum_i \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n+1},$$

здесь k – мощность отношения $R_S(X)$;

$$\eta_j(\lambda) \equiv \sum_i [\xi_i(v) - \xi_i(u)] \lambda_i \leq 0, \quad (u, v) \in R_N(X), \quad j = \overline{1, l}, \quad (7)$$

$$\eta_{l+1}(\lambda) \equiv \sum_i \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n+1},$$

где l – мощность отношения $R_N(X)$.

Первые части систем (5)-(7) являются однородными подсистемами и задают множества плоскостей, проходящих через начало координат. Вторые их части, являясь нормирующими условиями, определяют секущую. Таким образом, выполняется условие Хаара и системы (5)-(7) в общем случае являются несовместными. Универсальным, наиболее эффективным с вычислительной точки зрения путем решения подобных систем является поиск так называемой чебышевской точки [6]. Он позволяет свести исходные задачи к задачам линейного программирования.

Введя дополнительную переменную λ_{n+1} в систему (5), можно сформировать систему ограничений $|\eta_j(\lambda)| \leq \lambda_{n+1}$, $j = \overline{1, m}$ в виде

$$-\eta_j(\lambda) + \lambda_{n+1} \geq 0, \quad \eta_j(\lambda) + \lambda_{n+1} \geq 0, \quad j = \overline{1, m}, \quad (8)$$

$$\eta_{m+1}(\lambda) \equiv \sum_i \lambda_i = 1, \lambda_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n+1}.$$

Минимизация $\lambda_{n+1} \rightarrow \min$ в условиях ограничений (8) является типичной задачей линейного программирования и позволяет получить чебышевскую точку системы (5). Геометрически чебышевская точка λ^0 в этом случае имеет наименьшее по модулю уклонение $|r|$ от всей системы плоскостей уравнений (5):

$$|r| = \min_{\lambda} \max_j |\eta_j(\lambda)| = \max_j |\eta_j(\lambda^0)|. \quad (9)$$

Введем дополнительную переменную λ_{n+1} в первые k ограничений системы (6) для бинарного отношения $R_N(X)$ и потребуем, чтобы выполнялись условия $\eta_j(\lambda) \leq \lambda_{n+1}$, $j = \overline{1, k}$. Тогда отыскание чебышевской точки системы (6) сводится к задаче линейного программирования $\lambda_{n+1} \rightarrow \min$ в условиях ограничений

$$-\eta_j(\lambda) + \lambda_{n+1} \geq 0, \quad j = \overline{1, k}, \quad (10)$$

$$\eta_{k+1}(\lambda) \equiv \sum_i \lambda_i = 1, \lambda_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n+1}.$$

Если система (6) совместна, то $r = \min_{\lambda} \max_j \eta_j(\lambda) \leq 0$, и полученное

решение λ^0 будет максимально устойчивым к возможным изменениям ее коэффициентов. Если же система (6) несовместна, то $r > 0$, и получаем чебышевское приближение, представляющее собой значение минимального уклонения для рассматриваемой системы. В этом случае для системы предпочтений, описываемой бинарным отношением $R_N(X)$, не существует ни одного вектора весовых коэффициентов частных критериев λ , удовлетворяющего (6).

Подобным образом к задаче линейного программирования сводится поиск чебышевского решения (приближения) для системы линейных неравенств и ограничений вида (7). При этом если система является совместной, то $r < 0$, и получим ее чебышевское решение. Для несовместной системы $r \geq 0$ и получим ее чебышевское приближение.

Описанный подход идентификации векторов предпочтений применим во многих практических задачах: на множестве альтернатив X частично сформировано бинарное отношение $\tilde{R}(X)$, определяемое, например, лишь выбором ЛПР единственного варианта u [5]; отношение $R(\tilde{X})$ определе-

но на некотором подмножестве множества альтернатив $\tilde{X} \subset X$; бинарное отношение $\tilde{R}(\tilde{X})$ частично определено на некотором подмножестве множества альтернатив $\tilde{X} \subset X$. Точность получаемых оценок в рассмотренных ситуациях ниже, чем в случае отношений максимальной мощности. Наиболее общим случаем для множеств альтернатив X больших размеров является частичное формирование ряда бинарных отношений $\tilde{R}_E(\tilde{X})$, $\tilde{R}_N(\tilde{X})$, $\tilde{R}_S(\tilde{X})$ на некотором подмножестве альтернативных вариантов $\tilde{X} \subset X$. Соответствующая задача линейного программирования для отыскания чебышевской точки в этом случае имеет вид $\lambda_{n+1} \rightarrow \min$ в условиях ограничений

$$\begin{aligned} \lambda_{n+1} - \sum_i [\xi_i(v) - \xi_i(u)] \lambda_i &\geq 0, \quad (u, v) \in \tilde{R}_E(\tilde{X}) \cup \tilde{R}_N(\tilde{X}), \\ \lambda_{n+1} + \sum_i [\xi_i(v) - \xi_i(u)] \lambda_i &\geq 0, \quad (u, v) \in \tilde{R}_E(\tilde{X}), \\ \lambda_{n+1} - \sum_i [\xi_i(v) - \xi_i(u)] \lambda_i &> 0, \quad (u, v) \in \tilde{R}_S(\tilde{X}), \\ \sum_i \lambda_i &= 1, \quad \lambda_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n+1}. \end{aligned} \quad (11)$$

Недостатком решений в виде чебышевской точки (решения или приближения) служит их ориентация исключительно на экстремальные ограничения

$$\lambda^0 = \arg \min_{\lambda} \max_j \varphi_j(\lambda), \quad (12)$$

где $\varphi_j(\lambda) = \eta_j(\lambda)$ или $\varphi_j(\lambda) = |\eta_j(\lambda)|$. Альтернативой ему могут служить обобщенные решения систем (5)-(7), учитывающие удаление от всего множества ограничений [7]. В частности, для отношения эквивалентности $R_E(X)$ в качестве решения системы (5) может быть выбран вектор с компонентами $\lambda_i^0 = \lambda_i^* / \sum_i \lambda_i^*$, $i = \overline{1, n}$, являющимися решениями задачи

$$\lambda^* = \arg \min_{\lambda} \|A\lambda - b\|_E. \quad (13)$$

Здесь $\|A\lambda - b\|_E$ - евклидова норма вектора невязки; $A = [a_{ij}]$ - матрица коэффициентов для системы (5), $a_{ji} = [\xi_i(v) - \xi_i(u)]$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$; j - номер пары (u, v) в бинарном отношении $R_E(X)$; $a_{m+1, i} = 1$, $i = \overline{1, n}$;

$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n]^T$; $b = [0, 0, \dots, 1]^T$. Поиск решения (13) может быть сведен к задаче квадратичного математического программирования без ограничений вида

$$f = [(1 - \sum_i \lambda_i)^2 + \sum_j (\sum_i a_{ji} \lambda_i)^2] \rightarrow \min_{\lambda}, \quad (14)$$

решение которой не вызывает затруднений.

Аналогично (13)-(14) могут быть определены компоненты вектора весовых коэффициентов λ для отношений строгого $R_S(X)$ и нестрогого $R_N(X)$ предпочтений на множестве альтернативных решений X . При этом для $R_N(X)$ элементы матрицы A определяются из условия

$$a_{ji} = [\xi_i(v) - \xi_i(u)], \quad j = \overline{1, l}, \quad a_{l+1, i} = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (15)$$

где j, l — соответственно номер пары (u, v) и их количество в бинарном отношении $R_N(X)$;

Для отношения $R_S(X)$ элементами матрицы A являются

$$a_{ji} = [\xi_i(v) - \xi_i(u)], \quad j = \overline{1, k}, \quad a_{k+1, i} = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (16)$$

где j, k — соответственно номер пары (u, v) и их количество в бинарном отношении $R_S(X)$.

В случае, когда на основании сравнения вариантов ЛПР может быть частично сформирован ряд отношений $\tilde{R}_E(\tilde{X})$, $\tilde{R}_N(\tilde{X})$, $\tilde{R}_S(\tilde{X})$ на некотором подмножестве альтернативных вариантов $\tilde{X} \subset X$, элементы матрицы A могут быть определены следующим образом:

$$a_{ji} = [\xi_i(v) - \xi_i(u)], \quad j = \overline{1, N}, \quad a_{N+1, i} = 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

где N — мощность отношения $\tilde{R}(\tilde{X}) = \tilde{R}_E(\tilde{X}) \cup \tilde{R}_N(\tilde{X}) \cup \tilde{R}_S(\tilde{X})$.

Несмотря на то, что при вычислении значений коэффициентов матрицы A не учитывается конкретный вид отношения $\tilde{R}(\tilde{X})$, получаемые решения по качеству не уступают чебышевским точкам, так как учитывается удаление от всей системы ограничений решаемой задачи.

Предложенное обобщение метода компараторной идентификации векторов предпочтений для аддитивных моделей многофакторного выбора решений позволяет применять его для совокупности бинарных отношений эквивалентности, предпочтения и нестрогого предпочтения. Это охватывает все возможные ситуации, возникающие в практике выбора решений: пассивный, полуактивный и активный эксперименты с участием ЛПР. При этом не требуются затраты на организацию и проведение экспертизы, по-

лучаемые оценки являются менее субъективными и более точными, чем традиционно используемые экспертные.

Список литературы: 1. *Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. Х.: Вища шк., 1987. 170 с. 2. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубинский, В.Б. Соколов. М.: Наука, 1982. 328 с. 3. *Петров Э.Г.* Организационное управление городом и его подсистемами (методы и алгоритмы). Х.: Вища шк., 1986. 144 с. 4. *Петров Э.Г., Бескоровайный В.В., Писклакова В.П.* Формирование функций полезности частных критериев в задачах многокритериального оценивания // Радиоэлектроника и информатика. 1997. №1. С. 71-73. 5. *Овезгельдыев А.О., Петров К.Э.* Компараторная идентификация моделей интеллектуальной деятельности // Кибернетика и системный анализ. 1996. №5. С. 48-58. 6. *Зуховицкий С.И., Авдеева Л.И.* Линейное и выпуклое программирование. М.: Наука, 1967. 460 с. 7. *Бескоровайный В.В.* Идентификация параметров моделей многокритериального выбора решений // 4-я Междунар. конф. "Теория и техника передачи, приема и обработки информации" ("Новые информационные технологии"); научные труды /ХТУРЭ, Харьков-Туапсе, 1998. С. 275-276.

Поступила в редколлегию 20.11.98

С.Б. ЛАВРИНЕНКО, О. А. НЕСТЕРЕНКО, А.Л. ШУМЕЕВ

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УЧЕТА ЛЕВО- И ПРАВОПОЛУШАРНОЙ ПАРАДИГМЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИАЛОГОВОЙ КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В человеческом мире принятия решений часто правит не только разум, но и эмоции; а решение, которое принимает один человек, часто затрагивает интересы многих людей. В связи с этим возникает необходимость повлиять на субъективное мнение пользователя, вырабатывающего свое решение в процессе общения с системой поддержки принятия решений (СППР), удержать его на объективных позициях в процессе принятия решений (ПР). Таким образом, в области создания СППР созрела потребность изменить подход, на основании которого разрабатываются эти системы, смягчить концептуально существующую отстраненность системы от принимаемых решений. При создании СППР следующего поколения, особенно в человекообразных областях, необходимо обеспечить более адекватный человеческому подход к ведению процесса ПР. Работа посвящена вопросу реализации диалогового компонента СППР. Прежде всего нас интересовал вопрос, какая форма коммуникации на сегодняшний день наиболее приемлема для реализации в СППР, чтобы она смогла "подстраиваться под стиль мышления человека, имитировать приемы его работы" [1, с. 36]. Исходя из физиологических особенностей мышления человека, а также используя знания о вербальных левополушарных и образных правополушарных механизмах, видится возможным построить взаимодействие "человек - система" на более высоком уровне.

Объективизация процесса выбора путем учета при создании СППР левополушарных механизмов мышления человека. Одной из основных проблем, возникающих при создании СППР в областях экологического характера и других человекообразных областях, является необходимость в объективизации процесса выбора. При отсутствии в таких областях объективных моделей, научно-проработанных и формализованных алгоритмов оценки многокритериальных альтернатив процесс объективизации мы будем понимать как учет пользователем в процессе ПР интересов активных групп [1].

Установлено, что процесс осознания вреда или пользы того или иного решения для себя, т.е. процесс выработки решения индивидуальной проблемы поддерживается механизмами правого полушария (ПШ). А под-

держка решения интересующей нас коллективной проблемы с учетом позиций целой группы людей свойственна деятельности левого полушария (ЛП). В работе [2, с. 760] отмечается, что "чаще в начале деятельности наблюдается усиление активности в левом полушарии, как по ЭЭГ, так и по ВП-параметрам; затем отмечается неуклонная миграция (с неодинаковой промежуточной динамикой у разных лиц) фокуса активности из лобного отдела левого полушария в затылочный отдел правого". Таким образом, активность ЛП при решении сложных и в силу этого забирающих много времени задач со временем спадает. Физиологические опыты показывают также, что повторное воспроизведение однотипных мыслительных задач (как эмоционально окрашенных, образных, так и эмоционально нейтральных, вербальных) приводит к выработке стереотипа деятельности. При такой мыслительной деятельности также наблюдается закономерная миграция активационного фокуса по коре больших полушарий от левого к правому. Для объективизации процесса выработки субъективного решения предлагается обеспечить более активную работу ЛП, для чего при создании СППР необходимо отдавать предпочтения методам, которые являются достаточно быстрыми по времени проведения процесса принятия решения, а также сокращать серию предъявляемых для извлечения предпочтений ЛПР стимулов (запросов системы).

Классификация альтернатив решения как способ сокращения количества запросов системы. Требование сократить количество запросов системы к ЛПР в процессе принятия решений является прямым отражением понятия трудоемкости методов поддержки ПР, существующего в теории ПР. Рассмотрим предложение по сокращению трудоемкости таких методов на конкретном примере. Так, для метода ЗАПРОС [1], который наиболее полно удовлетворяет специфике человекообразных областей, в частности, области экологии, оценка трудоемкости производится по следующей формуле [1, с. 114]:

$$C = 0,25 \times Q \times (Q - 1) \times m \times (m - 1), \quad (1)$$

где C – количество запросов системы к ЛПР; Q – критериальность задачи ПР; m – максимальное количество оценок по одной из шкал качественных критериев.

Поскольку для слабоструктуризованных проблемных областей сокращение критериальности задачи ПР является довольно сложной проблемой, мы предлагаем так организовать процедуру использования метода ПР, чтобы было сокращено количество оценок по каждому из критериев. Этого можно добиться путем применения ко множеству исходных вариантов решения операции классифицирования. Здесь и возникает единствен-

ная трудность для реализации предлагаемой процедуры. В связи с преимущественно вербальным характером критериев оценки вариантов решения, используемых в методе ЗАПРОС, существенно затруднена классификация таких альтернатив. Идеальным было бы использование естественной классификации альтернативных решений, которые обычно закладываются в основу баз знаний интеллектуальных систем [3]. Построение естественных классификаций для слабоструктуризованных проблем выбора не является предметом этой работы. Однако при количественной оценке альтернатив построение их классификации не является реальной проблемой. Сначала необходимо разбить шкалы оценок по каждому из критериев на оптимальное для выбранной проблемной области количество классов оценок m_{opt} ; на высших уровнях иерархии такой классификации классы оценок будут представлять собой интервальные оценки качества. Далее на основании этих интервальных оценок возможна классификация начального множества альтернатив. Теперь по каждому из критериев альтернативы будут иметь лишь одну из m_{opt} оценок. Заметим, что с учетом m_{opt} такое деление на классы может иметь довольно высокую степень иерархии N . При этом будет верной следующая зависимость:

$$m = m_{opt}^N . \quad (2)$$

Оценим трудоемкость C_m процесса ПР для ЛПР в предлагаемой процедуре:

$$C_m = \sum_{i=1}^N C_i , \quad (3)$$

где C_i – количество запросов по принятию решений для i -го уровня иерархии классификации;

$$C_i = 0,25 \times Q \times (Q - 1) \times m_i \times (m_i - 1), \quad (4)$$

здесь m_i – количество оценок на i -м уровне иерархии (предлагается $\forall i \ m_i = m_{opt}$).

Для сравнения предложенной процедуры использования метода ЗАПРОС с оригинальным вариантом имеем две оценки трудоемкости (1) и (5) соответственно:

$$C_m = 0,25 \times N \times Q \times (Q - 1) \times m_{opt} \times (m_{opt} - 1). \quad (5)$$

Итак, при количестве уровней иерархии $N=1$ мы имеем дело с классическим вариантом метода ЗАПРОС. При $N \geq 2$ предлагаемая процедура позволяет уменьшить трудоемкость метода:

$$m_{opt}^N \times (m_{opt}^N - 1) \geq N \times m_{opt} (m_{opt} - 1). \quad (6)$$

Справедливость выражения (6) показывает, что делением с помощью классификации процесса ПР на N подпроцессов мы можем сократить серию общений ЛПР с СППР. Применение такой процедуры для других методов позволит достичь некоторого изменения самого описания проблемы выбора (сначала выбор класса альтернатив, потом выбор конкретной альтернативы), что также поможет более длительное время избегать выработки стереотипа. Вопрос избежания выработки такого стереотипа деятельности при решении проблем общезначимого, коллективного характера является актуальным и должен учитываться при реализации метода ПР в человекообразных областях.

Активация механизмов ПП с целью уменьшить время опознания теста и обеспечить целостное понимание проблемы. Другим, не менее существенным способом уменьшения времени, затрачиваемого пользователем на ПР, является сокращение времени на опознание теста. При представлении теста в виде двух изображений для сравнения обработка информации в процессе опознания может пойти двояко. Как утверждают физиологи в [4], обработка информации о двух изображениях в ЛП ведется последовательно. И это занимает значительно больше времени, чем требуется ПП, которое способно к параллельной обработке информации. "Правое полушарие производит параллельную оценку признаков формы одного изображения и способно к относительно независимому, параллельному опознанию двух изображений" [4].

В ходе проведенного анализа наше внимание привлекли и другие особенности межполушарной асимметрии головного мозга, которые могут найти применение при реализации диалогового компонента принятия решений в СППР (табл. 1).

Одна из наиболее существенных в перечисленных особенностях ПП – восприятие и оперирование целостными образами. В отличие от ЛП, которое воспринимает информацию последовательно, дискретно, проявляя ассоциативный, аналитический способ обработки информации, ПП воспринимает действительность "холистически", целиком, поддерживая процесс создания у человека полного образа (гельштада) из неполной информации [5]. Рассмотрим процесс оценки альтернативы со многими критериями качества. Эксперты оценивают альтернативу по шкале каждого из критериев. Далее, переход к получению общей целостности альтернативы происходит на основании формулы, абстрагирующей оценку по отдельным критериям в общую оценку полезности альтернативы. В областях, где нет объективной модели для такой интеграции (а таких областей большинство), функция интеграции перекладывается на опыт и интуицию ЛПР. Предлагается новый подход к построению диалога по ПР, который позво-

лит облегчить эту задачу пользователя. В этом подходе мы руководствуемся тем, что ГП головного мозга человека может провести необходимую интеграцию по чувственному образу, который можно сформировать средствами когнитивной графики [6]. Средства когнитивной графики дают возможность не только обеспечить целостное понимание проблемы, но и оптимизировать по времени процесс ПР, активизировав параллельные механизмы ГП.

Таблица 1

Левое полушарие	Правое полушарие
Присущи механизмы последовательного анализа информации	Существует возможность параллельного опознания образов
Отвечает за положительные эмоции	Отвечает за отрицательные эмоции
Происходит дискретное, последовательное опознание образов	Воспринимает действительность целиком
Отвечает за уточнение средств достижения некоторой цели	Обеспечивает создание полного гештальда из неполной информации
Производит опознание простых геометрических фигур	Отвечает за идентификацию цвета
Поддерживает опознание изображений знакомых объектов	Отвечает за различение оттенков цвета
Производит соотнесение выполняемых действий с интересами группы, коллектива	Производит сравнение фигур, различающихся размерами
Существует превосходство в обработке вербальных стимулов.	Обеспечивает восприятие трехмерности
	Производит учет вреда и пользы принимаемого решения для себя
	Существует превосходство в обработке образных стимулов

Когнитивная графика и ее цветовые решения – эффективный способ активации правополушарных механизмов. Разработчиков СППР давно волнует вопрос создания для диалога по ПР такого пользовательского интерфейса, который позволил бы обеспечить пользователю наиболее оптимальное и целостное понимание проблемы выбора. Укоренилось мнение, что когнитивная графика — наиболее "эффективное техническое средство прямого воздействия на сам процесс интуитивного

образного мышления" [3, с. 270], в основе своей правополушарного. Использование средств интерактивной компьютерной и когнитивной графики – вот к чему стремятся специалисты при создании современных пользовательских интерфейсов. Эпитет “когнитивная” подчеркивает, что речь идет не об обычной графике: чертежах, схемах, а о зрительных образах, позволяющих использовать дисплей как зрительный канал общения. Известно, что наиболее информативным является именно зрительный канал. По мнению психологов, человек получает по нему не менее 90% всей новой информации. С помощью зрения он вовлекает в процесс общения многочисленные компоненты невербального уровня, т.е. не выраженного словами естественного языка.

Когнитивная графика позволяет отобразить в наглядной графической форме внутреннее содержание, идею, суть изображаемого оригинала [4]. “Отсутствие принципиальных ограничений на форму, характер и структуру графических изображений, широкая возможность использования цветовых и музыкальных эффектов в качестве дополнительных, ...высокоэффективных и существенно “правополушарных” каналов связи между пользователем и интересующей его проблемой” [7, с. 272] — все это открывает принципиально новые возможности применения когнитивной графики как средства интенсификации процесса ПР. Когнитивная графика позволяет визуализировать глубинное содержание и смысл той проблемы, которая интересует пользователя, т. е. позволяет реализовать наиболее активную форму общения пользователя с исследуемой проблемой [6]. В этом случае сама ситуация “включает в работу” высшие творческие механизмы правополушарного мышления пользователя.

Относительно цветовых возможностей когнитивной графики необходимо отметить, что ученые многих стран экспериментально изучают воздействие цвета на психику человека [8] и дают рекомендации практического его использования во всех областях человеческой деятельности. Многие цвета действуют на подсознание человека, и только на этом уровне возникает тот или иной образ. Цвета вызывают самые различные чувства – от мира, веселья и радости до ненависти, страха и разочарования. Различные цвета оказывают возбуждающие действия, способствуют положительным эмоциям, вызывают чувство тепла, успокаивают нервную систему. В табл. 2 приведена информация о том, какое воздействие могут оказывать некоторые цвета на человеческие мысли и настроение.

Цвет воспринимается человеком разносторонне. При этом мозг анализирует информацию, поступающую от внешних рецепторов, обрабатывает ее и формирует сигнал, передающийся центральной нервной системе. При этом в сознании человека картина восприятия окружающей действительности дополняется до некоторого целостного образа. Согласно [9],

идентификация основных цветов и различение оттенков цвета происходит при некотором превосходстве в работе ПП. Таким образом, для обеспечения предпочтительной работы ПП рекомендуется в полную меру использовать все богатство средств когнитивной графики. Ведь как показывает приведенная в табл. 1 информация о зависимости межполушарной асимметрии от характера стимульного материала, превосходство ПП наблюдается также при определении пространственного расположения фигур; сравнении фигур, различающихся размерами; при восприятии трехмерности. И это лишь отдельные из невербальных стимулов, которые обуславливают эффективность влияния изображений когнитивной графики на активизацию механизмов ПП.

Таблица 2

Название цвета	Воздействие на психику человека и возникающие ассоциации
Зеленый	Содержит в себе скрытую потенциальную энергию, отражает степень волевого напряжения
Светло-серый	Предполагает ум, а также многообразие и разносторонность, интеллектуальное восприятие мира и проблем, быструю мышления
Голубой	Это мечты, романтичность, сон, а также чувство безопасности и ассоциация с материнством
Желтый	Цвет творчества и любви. Подобный солнечный цвет олицетворяется с божественностью, он позволяет сконцентрировать волю и направить ее на свершение великих дел. Этот цвет озаряет своим "светом" духовную и материальную жизнь, это цвет солнечного света, хорошего настроения и веселья. Опытты показали, что этот цвет самый веселый, он оказывает стимулирующее воздействие на весь организм, способен активизировать и умственную работу
Темно-серый	Символизирует границы и барьеры, но также логику и умственные способности, интеллектуальное богатство и аналитические наклонности
Коричневый	Символизирует знания, солидность, суровость и твердость. Коричневый - цвет рациональности и конкретности

Создание диалога по ПР с учетом лево- и правополушарной парадигмы. Целостность в понимании проблемы, которая поддерживается механизмом ПП, необходима при решении задач, носящих как индивидуальный, так и коллективный характер. Однако для объективизации процесса ПР необходима более активная работа ЛП. Таким образом, перед

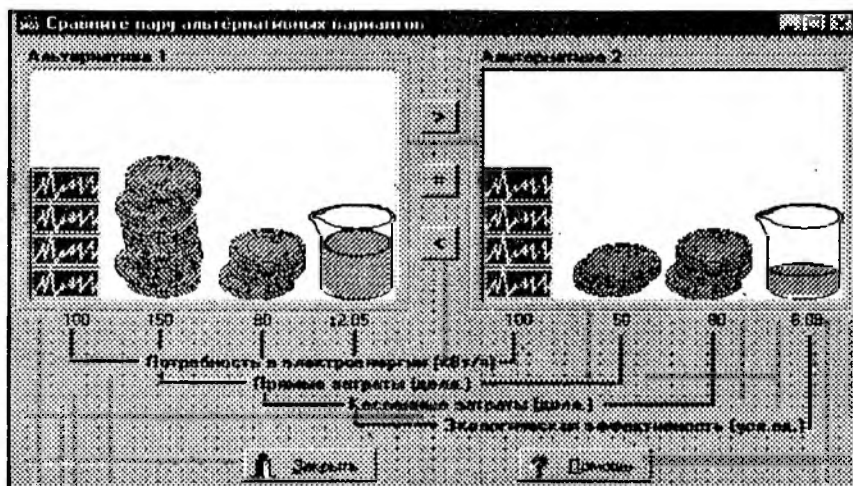
нами встает дилемма: с одной стороны, для принятия более правильного решения необходимо целостное понимание пользователем проблемы, а это обеспечивает ПП; а с другой – для ПР в человекоразмерных проблемных областях необходимо соотносить это решение с интересами других людей, а здесь должна проявляться более активная работа ЛП. Возникает закономерный вопрос: что выбрать и чем пожертвовать? Исходя из особенностей межполушарной асимметрии головного мозга, нам представляется возможным, обеспечив полноту и структурированность описания проблемы выбора с помощью некоторой графической системы, тем не менее сохранить активность ЛП.

Система в виде предметно-изобразительного кода (графиков, схем и т.д.) является наиболее приемлемой для такой задачи. Согласно [10, с. 14], для решения некоторой конкретной задачи "субъект специально, осознанно или неосознанно, мысленно конструирует кодовую запись из наглядно представляемых фигур, схем, графиков и т.д., которые служат моделью его абстрактных мыслей". Таким образом, абстрактная задача, элементы и отношения проблемной ситуации переводятся на многомерный язык. При использовании предметно-изобразительного кода "посредством пространственных отношений фиксируются любые отношения реальности (например, рост производительности труда, объемные отношения между понятиями в диаграммах, схемах и т.д.)" [10, с. 16].

Мы предлагаем описывать сравниваемые альтернативы с помощью наглядного языка когнитивной графики в виде диаграмм. Именно элементы диаграмм представляют собой простые геометрические фигуры, которые опознаются преимущественно ЛП. Но не стоит полностью отказываться и от естественного языка, который необходим для формулировки критериев качества и реальных значений оценок по этим критериям, которые все же необходимо отражать на диаграммах. Так как при проведении парных сравнений в области промышленной экологии оценка сравниваемых альтернатив происходит по нескольким разнообразным критериям, то существует определенный простор для обеспечения наглядного описания в диаграммах. Так, столбики диаграмм можно представить в виде изображений, знакомых людям образов, например, монет, пробирок с водой, разряда электрического тока и т.д. Оценки по экономическим критериям могут быть изображены на диаграмме в виде стопок золотых монет (золотых или желтых, так как этот цвет выражает материальную сторону жизни), а оценка по экологическому критерию — в виде пробирки, до необходимого уровня заполненной чистой голубой водой (голубой цвет не даром ассоциируется с экологией, он ведь обеспечивает чувство безопасности) и т.д. На рисунке представлен один из возможных вариантов создания приемлемого в данной проблемной области интерфейса, это пример диалого-

вого окна по выработке субъективного решения с учетом полушарной асимметрии головного мозга. По нашему мнению, подобный интерфейс пригоден для решения проблем коллективного характера:

- своей наглядностью, образностью он не затормаживает работу ПП, что дополнительно обеспечивает целостность понимания проблемы выбора и быстроту опознания теста;
- благодаря простоте графического решения проблемы построения интерфейса сильнее активизируется работа ЛП, что обеспечивает подсознательный учет пользователем в процессе ПР значимости этого решения для групп других людей.



Выводы: Итак, процесс разработки и создания следующего поколения СППР переходит на существенно другой уровень, еще более зависимый от специфики области применения системы. Возникают серьезные сомнения по поводу необходимости создания универсальных СППР для решения проблем общезначимого характера. В работе обоснована необходимость того, чтобы подходить к созданию каждой СППР для человекообразных областей экологии, биомедицины и т.п. с самым детальным анализом всех особенностей ее применения. Рассмотрены вопросы реализации диалогового компонента таких СППР:

- предложен механизм объективизации процесса выработки субъективного решения;
- предложены процедуры уменьшения времени, затрачиваемого на выработку пользователем окончательного решения;

• на основании проведенных исследований предложен вариант реализации диалога по ПР с учетом лево- и правополушарной парадигмы.

Список литературы: 1. Ларичев О.И., Мошкович Е.М. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений. М.: Наука, 1996. 208 С. 2. Русалова М.Н. Влияние эмоций на активацию левого и правого полушарий головного мозга // Физиология человека. М.: Наука, 1988. Т. 14, N 5, С. 754 – 769. 3. Соловьева Е.А. Теория понятийных знаний: Учеб. пособие. К.: УМК ВО, 1990. 80 С. 4. Костелянец Н.Б., Каменкович В.М., Новикова Г.Р., Куликов М.А. Межполушарные различия в динамике опознания изображений // Физиология человека. М.: Наука, 1988. Т. 14, N 6. С. 927 – 932. 5. Зальцман А.Г. Особенности переработки зрительной информации в правом и левом полушариях головного мозга человека // Физиология человека. М.: Наука, 1990. Т. 16, N 2. С. 135 – 148. 6. Бондаренко М.Ф., Соловьева Е.А., Лавриненко С. Б., Назаренко Р.Н., Дьяченко О.В. Инструментальные программные средства поддержки когнитивной графики для систем, основанных на знаниях. Харьков: 1996. С. 7 Деп. в Укр ИНТЭИ, 1996. 7. Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика и научное творчество // Будущее искусственного интеллекта. М.: Наука, 1991. С. 244 – 269. 8. Миронова Л.Н. Семантика цвета в эволюции психики человека. Проблема цвета в психологии. М.: Наука, 1993. С. 172. 9. Зальцман А.Г. Особенности переработки зрительной информации в правом и левом полушариях головного мозга человека // Физиология человека. М.: Наука, 1990. Т. 16, N 2. С. 135 – 148. 10. Шалютин С.М. Искусственный интеллект: Гносеологический аспект. М.: Мысль, 1985. С. 199.

Поступила в редколлегию 07.07.98

Д.Э.СИТНИКОВ, Н.Ф.ХАЙРОВА, Н.В.ШАРОНОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕМАНТИКО-СИНТАКСИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ ГРАММАТИЧЕСКИХ СЛОВСОЧЕТАНИЙ

При морфологическом анализе системы машинного перевода (МП) каждой словоформе предложения приписывают морфологическую информацию (МИ). Так как словоформы анализируются вне связи с контекстом, практически каждая из них обладает морфологической омонимией, в результате чего ей приписывается целый комплекс морфологической информации (КМИ), т.е. набор возможных альтернативных вариантов морфологической информации. В системах автоматической обработки текстов на естественном языке (ЕЯ) морфологическая омонимия обычно снимается на этапе синтаксического и даже семантического анализа. В современных промышленных системах МП, работающих с большими словарями в широких областях знаний, семантический анализ представлен только семантическими фильтрами. Алгоритм глубокого синтаксического анализа достаточно сложен и в силу этого далеко не всегда реализуется в полной мере [1].

Предлагается использовать метод компараторной идентификации, описанный в [3], на материале семантико-синтаксических отношений грамматических словосочетаний, применение которого, на первом этапе синтаксического анализа, позволит снять значительную часть морфологической омонимии.

В результате морфологического анализа каждой словоформе предложения приписывается морфологическая информация, которая является многозначной (или морфологически омонимичной). Однако при образовании семантико-синтаксической связи между рядом стоящими словоформами в предложении не все МИ могут быть связаны отношением. Следовательно, необходимо выявить и математически описать закономерность образования связей между двумя рядом стоящими словоформами в предложении [2].

Рассмотрим множество словоформ $M = \{m_1, \dots, m_n\}$, где n — количество словоформ в словаре системы. Словоформы из множества M образуют словосочетания, т.е. между словоформами устанавливаются семантико-синтаксические связи, которые можно выразить формально, используя основные методы компараторной идентификации лингвистических объектов [4].

Грамматическое словосочетание можно представить в виде: $m_i * m_j$, где $m_i, m_j \in M$, а знак $*$ — обозначает, что между словоформами установлены определенные семантико-синтаксические связи. В проективных предложениях индоевропейских языков (а системы МП работают только с

проективными предложениями) если две словоформы связаны друг с другом, то связи между ними образуют три типа грамматического подчинения: согласование, управление и примыкание.

На множестве M введем систему предикатов S так, чтобы любой предикат $P(q_m) \in S$ обращался в 1 на множестве словоформ с какой-то определенной морфологической информацией и был равен 0 в противном случае. Таким образом, множество предикатов S можно сопоставить с комплексом морфологической информации, приписываемой словоформе словосочетания на этапе морфологического анализа. Каждой словоформе m_i из M соответствует некоторый предикат $P(q_m) \in S$, равный 1 при подстановке комплекса морфологической информации, приписанного на предыдущем этапе анализа конкретной словоформе m_i . Следовательно, каждому элементу m взаимно-однозначно соответствует определенный одноместный предикат, задающий комплекс морфологической информации словоформы словосочетания. Операция соединения двух словоформ из M , комплексы морфологической информации которых заданы предикатами $P(q_m) \in S$ и $P(q_n) \in S$, характеризуется определенной семантико-синтаксической связью, которая определяет тип грамматического подчинения в словосочетании. В результате семантико-синтаксического согласования двух рядом стоящих словоформ получаем множество связей между КМИ, другими словами — множество возможных семантико-синтаксических связей в различных типах грамматического подчинения в словосочетаниях. Таким образом, между КМИ рядом стоящих словоформ предложения существует бинарное отношение, которое является подмножеством декартового произведения этих комплексов.

Это бинарное отношение можно представить с помощью двухместного предиката $P(q_m q_n)$, при этом для любых q_m, q_n

$$P(q_m q_n) \rightarrow P(q_m) \bullet P(q_n), \quad (1)$$

где \bullet — операция конъюнкции предикатов.

Предположим, что возможность согласования комплексов морфологической информации не зависит от того, к каким словоформам они относятся. Тогда на декартовом произведении множества $S * S$ можно задать предикат $\gamma_i(q_m q_n)$, принимающий значение 1, если морфологические информации словоформ q_m и q_n связаны при данном типе грамматического подчинения, и значение 0 — в противном случае. Подмножество согласуемой морфологической информации практически никогда не совпадает с декартовым произведением всех возможных связей. Те МИ рядом стоящих словоформ, которые не согласуются при данном типе грамматического подчинения, исключаются из формулы (1) множителем $\gamma_i(q_m q_n)$, $i = 1, 2, 3$ (согласование, управление, примыкание). Таким образом, бинарное отно-

шение на множестве рядом стоящих словоформ предложения для всех типов грамматического подчинения может быть задано формулой

$$P(q_m) * P(q_n) = \gamma_i(q_m, q_n) \bullet P(q_m) \bullet P(q_n), \quad (2)$$

где знак * обозначает операцию соединения комплексов морфологической информации словоформ (операцию связи МИ двух рядом стоящих словоформ, т.е. знак * указывает на то, что две рядом стоящие словоформы связаны между собой семантико-синтаксической связью). Действительно, логическое произведение предикатов $P(q_m)$ и $P(q_n)$ описывает всевозможные связи между двумя рядом стоящими словоформами в предложении, а предикат $\gamma_i(q_m, q_n)$ исключает часть связей, которые не реализуются в данном типе грамматического подчинения анализируемого языка.

Рассмотрим работу данной модели на примере предложений русского языка. Выберем простейшую систему морфологических категорий и их значений, состоящую из части речи и наиболее существенных морфологических признаков. Если система МП настраивается на обработку сложных текстов, то систему грамматических категорий можно расширить без изменения алгоритма.

Словоформы, стоящие на первом месте в словосочетании, будут иметь следующие МИ:

x_1 = существительное, именительный падеж,

x_2 = существительное, косвенный падеж,

x_3 = прилагательное,

x_4 = причастие,

x_5 = глагол не прошедшего времени,

x_6 = глагол прошедшего времени,

x_7 = порядковое числительное,

x_8 = количественное числительное,

x_9 = предлог,

x_{10} = наречие.

МИ словоформ, стоящих на втором месте в цепочке, имеют следующий вид:

y_1 = существительное, именительный падеж,

y_2 = существительное, косвенный падеж,

y_3 = прилагательное,

y_4 = причастие,

y_5 = глагол не прошедшего времени,

y_6 = глагол прошедшего времени,

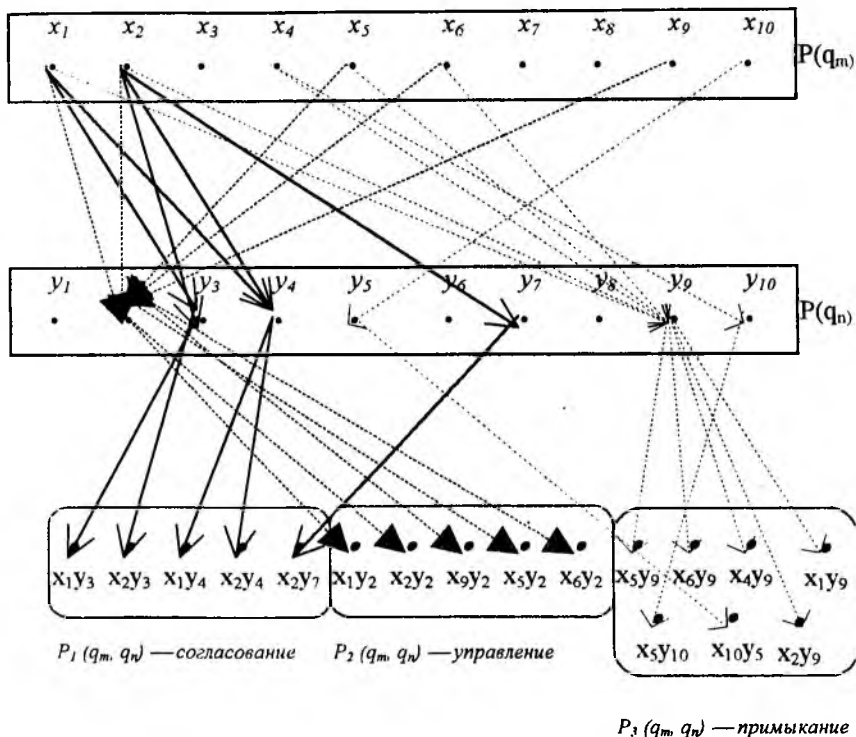
y_7 = порядковое числительное,

y_8 = количественное числительное,

y_9 = предлог,

y_{10} = наречие.

Связи между словоформами в словосочетаниях при трех возможных типах грамматического подчинения русского языка графически показаны на рисунке.



Анализ словосочетаний русского языка показал, что две рядом стоящие словоформы могут быть связаны в словосочетании по типу "согласование". При этом образуются следующие композиции МИ:

$x_1 y_3$ — существительное именительного падежа, прилагательное (стол деревянный, карандаш простой);

$x_2 y_3$ — существительное косвенного падежа, прилагательное (деревянном столе, простым карандашом);

$x_1 y_4$ — существительное именительного падежа, причастие (рисующий мальчик, начерченный план);

$x_2 y_4$ — существительное косвенного падежа, причастие (рисующего мальчика, начерченном плане);

$x_2 y_7$ — существительное косвенного падежа, порядковое числительное (третьего студента, вторым поворотом).

Для типа связи управление характерны следующие сочетания МИ двух словоформ:

$x_1 y_2$ — существительное именительного падежа, существительное косвенного падежа (работа топором, ножка стула);

$x_2 y_2$ — существительное косвенного падежа, существительное косвенного падежа (работой топором, ножкой стула);

$x_3 y_2$ — предлог, существительное косвенного падежа (на берегу, в доме);

$x_5 y_2$ — глагол не прошедшего времени, существительное косвенного падежа (вижу текст, производить погрузку);

$x_6 y_2$ — глагол прошедшего времени, существительное косвенного падежа (произвел погрузку, увидел дом).

Для примыкания характерны следующие сочетания МИ рядом стоящих словоформ:

$x_5 y_9$ — глагол не прошедшего времени, предлог (идет на, поступает в);

$x_6 y_9$ — глагол прошедшего времени, предлог (побежал на, поступил в);

$x_4 y_9$ — причастие, предлог (игравший в, написавший на);

$x_1 y_9$ — существительное именительного падежа, предлог (студент из);

$x_2 y_9$ — существительное косвенного падежа, предлог (студентах из);

$x_5 y_{10}$ — глагол не прошедшего времени, наречие (одевается красиво, работает хорошо);

$x_{10} y_5$ — наречие, глагол не прошедшего времени (хорошо говорит, легко несет).

Для математического описания связей между МИ рядом стоящих словоформ предложения воспользуемся формулой (2). Множество возможных МИ первых словоформ словосочетания задается предикатом $P(q_m)$, который может быть представлен следующим образом:

$$P(q_m) = q_m^{x1} V q_m^{x2} V q_m^{x3} V q_m^{x4} V q_m^{x5} V q_m^{x6} V q_m^{x7} V q_m^{x8} V q_m^{x9} V q_m^{x10}.$$

Множество МИ стоящих на втором месте словоформ может выражаться предикатом:

$$P(q_n) = q_n^{y1} V q_n^{y2} V q_n^{y3} V q_n^{y4} V q_n^{y5} V q_n^{y6} V q_n^{y7} V q_n^{y8} V q_n^{y9} V q_n^{y10}.$$

При грамматическом подчинении по типу согласования $\gamma_1(q_n, q_m)$ может быть представлена следующим образом:

$$\gamma_1(q_n, q_m) = q_n^{x1} q_m^{y3} V q_n^{x2} q_m^{y3} V q_n^{x1} q_m^{y4} V q_n^{x2} q_m^{y4} V q_n^{x2} q_m^{y7};$$

при грамматическом подчинении по типу управления $\gamma_2(q_n, q_m)$ представляется формулой

$$\gamma_2(q_n, q_m) = q_n^{x1} q_m^{y2} V q_n^{x2} q_m^{y2} V q_n^{x9} q_m^{y2} V q_n^{x5} q_m^{y2} V q_n^{x6} q_m^{y2};$$

при примыкании $\gamma_3(q_m, q_n)$ определяется как

$$\gamma_3(q_m, q_n) = q_n^{x5} q_m^{y9} V q_n^{x6} q_m^{y9} V q_n^{x4} q_m^{y9} V q_n^{x1} q_m^{y9} V q_n^{x2} q_m^{y9} V q_n^{x5} q_m^{y10} V q_n^{x10} q_m^{y5}.$$

Тогда в соответствии с формулой (2) опишем множество возможных связей комплексов морфологической информации в словосочетаниях по типу согласования, задаваемое с помощью предиката $P_1(q_m, q_n)$:

$$\begin{aligned} P_1(q_m, q_n) &= \gamma_1(q_m, q_n) \bullet P(q_m) \bullet P(q_n) = \\ &= (q_n^{y1} q_m^{y3} V q_n^{y2} q_m^{y3} V q_n^{y1} q_m^{y4} V q_n^{y2} q_m^{y4} V q_n^{y2} q_m^{y7}) (q_m^{x1} V q_m^{x2} V q_m^{x3} V \\ V q_m^{x4} V q_m^{x5} V q_m^{x6} V q_m^{x7} V q_m^{x8} V q_m^{x9} V q_m^{x10}) (q_n^{y1} V q_n^{y2} V q_n^{y3} V q_n^{y4} V q_n^{y5} V \\ V q_n^{y6} V q_n^{y7} V q_n^{y8} V q_n^{y9} V q_n^{y10}). \end{aligned} \quad (3)$$

Множество возможных связей комплексов морфологической информации в словосочетаниях по типу управления, задаваемое с помощью предиката $P_2(q_m, q_n)$:

$$\begin{aligned} P_2(q_m, q_n) &= \gamma_2(q_m, q_n) \bullet P(q_m) \bullet P(q_n) = (q_n^{x1} q_m^{y2} V q_n^{x2} q_m^{y2} V q_n^{x9} q_m^{y2} V q_n^{x5} q_m^{y2} V \\ V q_n^{x6} q_m^{y2}) (q_m^{x1} V q_m^{x2} V q_m^{x3} V q_m^{x4} V V q_m^{x5} V q_m^{x6} V q_m^{x7} V q_m^{x8} V q_m^{x9} V q_m^{x10}) \\ (q_n^{y1} V q_n^{y2} V q_n^{y3} V q_n^{y4} V q_n^{y5} V q_n^{y6} V V q_n^{y7} V q_n^{y8} V q_n^{y9} V q_n^{y10}). \end{aligned} \quad (4)$$

Множество возможных связей комплексов морфологической информации в словосочетаниях по типу примыкания, задаваемое с помощью предиката $P_3(q_m, q_n)$, можно описать следующим образом:

$$\begin{aligned} P_3(q_m, q_n) &= \gamma_3(q_m, q_n) \bullet P(q_m) \bullet P(q_n) = \\ &= (q_n^{x5} q_m^{y9} V q_n^{x6} q_m^{y9} V q_n^{x4} q_m^{y9} V q_n^{x1} q_m^{y9} V q_n^{x2} q_m^{y9} V q_n^{x5} q_m^{y10} V \\ V q_n^{x10} q_m^{y5}) (q_m^{x1} V q_m^{x2} V q_m^{x3} V q_m^{x4} V q_m^{x5} V q_m^{x6} V q_m^{x7} V q_m^{x8} V q_m^{x9} V \\ V q_m^{x10}) (q_n^{y1} V q_n^{y2} V q_n^{y3} V q_n^{y4} V q_n^{y5} V q_n^{y6} V q_n^{y7} V q_n^{y8} V q_n^{y9} V q_n^{y10}). \end{aligned} \quad (5)$$

При подстановке КМИ первой и второй словоформы словосочетания, полученных на этапе морфологического анализа, в формулы (3)—(5) предикаты, которые описывали тип словосочетания, не присущий данным словоформам, обращаются в нуль. Те же предикаты, которые принимают значение 1, позволяют существенно снизить возможные варианты сочетаний между словоформами. Таким образом, полученные бинарные предикаты (формулы (3)—(5)) позволяют уже на этапе предсинтаксиса снять часть морфологической омонимии, что способствует улучшению качества перевода, особенно при переводе с флективных (русского, украинского) языков.

Список литературы: 1. Белоногов Г.Г., Кузнецов Б.А. Языковые средства автоматизированных информационных систем. М.: Наука, 1983. 288 с. 2. Хайрова Н.Ф., Замаруева И.В. Машинный перевод. Учеб.пособ. Х.:Око, 1998. 82 с. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. Х.: Вища шк.Изд-во при Харьк.ун-те, 1984. 144 с. 4. Шабанов-Кушнарченко Ю.П., Шаронова Н.В. Компаративная идентификация лингвистических объектов.К.:ИСИО, 1993. 116 с.

Поступила в редколлегию 20.10.98

*С.А. ГОЛОВАШИЧ, А.С. КОРЯК, И.В. ЛИСИЦКАЯ,
Р.В. ОЛЕЙНИКОВ, О.И. ОЛЕШКО*

ПОСТРОЕНИЕ ТАБЛИЦ ПОДСТАНОВОК ДЛЯ СТАНДАРТА ШИФРОВАНИЯ ДАННЫХ

Одним из актуальнейших направлений дальнейшего развития и совершенствования информационных технологий, их применения в особо ответственных системах управления жизнедеятельностью государства и общества является все большая интеллектуализация таких систем, придание им свойств самоорганизации и адаптации к изменяющимся условиям функционирования. Вместе с тем усложнение информационных технологий резко обострило необходимость решения целого комплекса сложных вопросов, связанных с защитой информации, обеспечением безопасности функционирования сложных систем, особенно в таких критических областях как энергетика, транспорт, армия, финансы.

Одним из путей решения стоящих задач, как известно, считается применение криптографических методов защиты информации на всех этапах ее жизненного цикла. В настоящей работе рассматриваются пути совершенствования теоретических и практических методов построения шифров симметричного типа, которые и сегодня занимают важное место в комплексе криптографических средств и методов защиты информации в вычислительных и информационных сетях.

В частности, речь пойдет о правилах построения таблиц подстановок, которые выступают в качестве одной из основных процедур криптопреобразований во многих современных и классических шифрах, таких как DES, ГОСТ 28147 и др.

Идея этой работы состоит в том, чтобы развить методiku отбора случайных таблиц подстановок, изложенную в наших предыдущих публикациях [1-3], применительно к построению S блоков для алгоритма шифрования DEA (так мы будем называть по уже установившейся терминологии использование именно алгоритмической части DES) и показать, что таблица подстановок, предложенная разработчиками стандарта DES, является далеко не лучшей. Предлагаемая методика позволяет построить таблицы S блоков, которые намного эффективнее известной таблицы в отношении защиты от атак как дифференциального, так и линейного криптоанализа [4,5].

1. Анализ свойств и характеристик S блоков стандарта DES

Напомним, что в алгоритме DES в каждом из S блоков входные 6 бит заменяются на 4 выходных, причем взаимосвязи между входными и выход-

ными символами определяется с помощью 8 фиксированных таблиц подстановок, т.е. в этом алгоритме применяется не общепринятое представление подстановки в виде отображения конечного множества различных чисел самого в себя (перестановки чисел), а отображение $GF(2^6) \rightarrow GF(2^4)$. Однако если внимательно посмотреть на таблицы S блоков для стандарта DES, приведенные, например, в [6], то можно прийти к выводу, что каждый из S блоков (в том виде, в каком они представлены в [6]) является числовой конструкцией из четырех перестановок ($m = 4$) степени $n = 16$, и эту числовую конструкцию можно интерпретировать как таблицу полиподстановки, т.е. по существу и в этом случае при формировании S блоков для алгоритма DEA, как и при формировании таблиц для алгоритма ГОСТ 28147-89, исходным можно считать преобразование вида $GF(2^4) \rightarrow GF(2^4)$. Это позволяет задачу построения S блоков для алгоритма DEA сформулировать как задачу формирования (отбора) 8 таблиц подстановок (из 4-х подстановок 16-й степени каждая), удовлетворяющих некоторым ограничениям. В этой работе для решения сформулированной задачи предлагается воспользоваться методикой отбора случайных таблиц подстановок по трем уровням проверки, сформулированным в [1], дополнив ее некоторыми вспомогательными ограничениями и проверками, учитывающими усиление защиты от известных из литературы "каналов уязвимости" стандарта DES (имеется в виду обеспечение устойчивости к атакам дифференциального и линейного криптоанализа).

Остановимся сначала на результатах анализа свойств и характеристик случайности подстановок и таблиц подстановок стандарта DES, т.е. будем интересоваться степенью близости их показателей случайности к показателям случайных равновероятных подстановок и случайных таблиц подстановок.

Напомним, что в [1] предлагается использовать показатели и критерии случайности трех уровней. На первом уровне проверки оценивается соответствие индивидуальных характеристик отдельно взятой подстановки свойствам случайной равновероятной подстановки. Подстановки, прошедшие первый уровень проверки, считаются уже подстановками "случайного" типа.

На втором уровне оценивается соответствие характеристик случайности системы подстановок, попавших в таблицу, свойствам среднестатистической таблицы случайных подстановок. Таблицы подстановок, прошедшие первые два уровня проверки, считаются случайными таблицами подстановок (заметим, что здесь и выше точнее было бы говорить о подстановках и таблицах подстановок, принадлежащих множеству наиболее вероятных подстановок и таблиц подстановок случайного типа).

На третьем уровне осуществляется оценка характеристик множества случайных таблиц подстановок, из которого отбираются таблицы, удовлетворяющие требованиям использования в системе защиты нескольких (или смен-

ных) долговременных ключей, а в рассматриваемом случае – условиям одно-временного использования в шифре нескольких таблиц подстановок.

Для первого уровня проверки подстановок по индивидуальным показателям случайности расчеты числовых значений параметров отбора подстановок по числу инверсий η_n , числу циклов ξ_n и числу возрастаний ζ_n при $n = 16$ приводят к результатам, приведенным в [1] для алгоритма ГОСТ 28147–89, т.е. $|\eta_n - 60| \leq 10$, $|\xi_n - 3| \leq 2$, $|\zeta_n - 8| \leq 1$.

На втором уровне проверки сначала отбираются случайные подстановки, которые не имеют совпадающих элементов с верхней строкой традиционного матричного представления подстановки в каноническом виде (верхняя строка – это упорядоченный ряд чисел $1, 2, 3, \dots, n$). Затем для сформированной таким образом таблицы строится ее "метрический портрет" и сравнивается с "эталонным метрическим портретом".

Чтобы построить двумерный эталонный метрический портрет случайной таблицы подстановок, рассчитывают закон распределения вероятностей числа повторений различных элементов в столбце таблицы, составленной из случайных равновероятных подстановок, и закон распределения вероятностей числа совпадений элементов в паре наложенных строк такой таблицы. Соответствующие законы распределения вероятностей, рассчитанные для $n = 16$, $m = 4$ по методике, изложенной в [3], представлены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 следует, что произвольно выбранная (случайная) таблица, состоящая из четырех подстановок (имеющая 16 столбцов и 4 строки), будет содержать с большой вероятностью 11 столбцов, не имеющих повторяющихся (совпадающих) элементов, и 5 столбцов с двумя повторяющимися элементами (с одной парой повторяющихся элементов). Все другие конфигурации существенно менее вероятные (суммарная вероятность оставшихся трех вариантов совпадений менее чем 0,026).

Аналогично для таблицы из $N_k = 6$ пар строк и закона распределения вероятностей, приведенного в табл. 2, получаем, что среднестатистический метрический портрет случайной таблицы подстановок в этом случае состоит:

из $t_0 = 2$ пар строк с 0 совпадений элементов;

из $t_1 = 3$ пар строк с 1 совпадением;

из $t_2 = 1$ пары строк с 2 совпадениями.

Все другие варианты совпадений элементов в парах строк таблицы подстановок и здесь оказываются маловероятными (на все остальные варианты приходится вероятность, близкая к 0,015).

Таблица 1

Закон распределения вероятностей $P^{(i)}$ числа повторений i различных элементов в столбце таблицы подстановок

i	$P^{(i)}$
0	0,6665
1	0,3225
2	0,0109

Таблица 2

Закон распределения вероятностей $P(\gamma)$ числа совпадений γ элементов в паре наложенных строк

γ	$P(\gamma)$
0	0,356
1	0,3798
2	0,1899
3	0,0591
4	0,0128
5	0,0020
...	...

Таким образом, результирующий эталонный метрический портрет случайной таблицы подстановок представляет собой конфигурацию вида $(\zeta_0, \zeta_2, \zeta_3) = (11, 5, 0,)$ совпадений элементов по столбцам и конфигурацию вида $(t_0, t_1, t_2, \dots, t_{16}) = (2, 3, 1, 0, \dots, 0)$ совпадений элементов во всех попарных декомпозициях строк.

В этой работе мы несколько отойдем от определенного в [3] правила отбора на втором уровне проверки, ориентированного на использование для оценки близости конфигурации совпадений в столбцах и строках проверяемой таблицы к эталонной критерия согласия χ^2 как такового (по объему выборки ситуация оказывается далеко выходящей за условия применимости критерия χ^2 [5]). Будем использовать саму идею расчета величины χ^2 просто как метод отбора (выбора) таблиц подстановок, реализуемый с помощью соотношений

$$\chi_q^2 \leq \chi_{q_{ст}}^2,$$

$$\chi_q^2 \leq \chi_{q_{н.}}^2.$$

В этих соотношениях $\chi_{q_{ст}}^2$ и $\chi_{q_{н.}}^2$ – пороговые значения для величин χ_q^2 ,

а сами значения χ_q^2 определяются в виде

$$\chi_q^2 = \sum_{i=0}^2 \frac{(\zeta_i - nP^{(i)})^2}{nP^{(i)}}$$

для конфигураций $(\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2)$ совпадений элементов по столбцам и

$$\chi_q^2 = \sum_{i=0}^{16} \frac{(t_i - N_k P(\gamma))^2}{N_k P(\gamma)}$$

– для конфигураций $(t_0, t_1, t_2, \dots, t_{16})$ совпадений элементов в парах строк.

Чтобы задать пороговые значения $\chi_{q_{CT}}^2$ и $\chi_{q_{n_s}}^2$, воспользуемся следующими соображениями. Представляется достаточно очевидным, что наиболее предпочтительной ситуацией построения интересующих нас таблиц можно считать наибольшую "непохожесть" друг на друга входящих в них подстановок, т.е. ситуацию, когда подстановки, образующие таблицу, вообще не имеют совпадений по столбцам, а следовательно, не имеют совпадений и в любых попарных сочетаниях строк (являются противоречивыми). Поэтому вряд ли целесообразно вводить ограничение на максимальное число несовпадений, тем более, что, как показал анализ [7,8], и в предельном случае использования таблиц в виде латинских прямоугольников (таблиц, составленных из противоречивых подстановок) они проходят все проверки на статистическую безопасность, как и случайные таблицы подстановок, отобранные по критериям работы [3]. Исходя из этого, предлагается задать параметры отбора так, чтобы выполняемые проверки пропускали таблицы, состоящие из противоречивых подстановок, что можно осуществить, если воспользоваться пороговыми значениями $\chi_{q_{CT}}^2$ и $\chi_{q_{n_s}}^2$ для предельных конфигураций совпадений $(6, 0, 0)$ по столбцам и $(16, 0, 0, \dots, 0)$ по парам строк. Расчеты, выполненные для законов распределения вероятностей табл. 1 и 2, приводят к результатам $\chi_{q_{CT}}^2 = 8$, $\chi_{q_{n_s}}^2 = 10,8$.

При проверке на третьем уровне по числу совпадений элементов q в паре наложенных случайных таблиц подстановок можно воспользоваться односторонним ограничением в виде $q \leq 5$, близким по смыслу к проверке, предложенной в [1].

В соответствии с приведенными соображениями и был выполнен анализ свойств случайности таблиц подстановок, предложенных разработчиками стандарта DES. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1) По индивидуальным показателям (числу инверсий, возрастаний и циклов) подстановки, из которых построены таблицы, удовлетворяют определенным в [1] критериям случайности, т.е. являются случайными подстановками (кроме небольшого отличия 4-й подстановки в 5-м S блоке по числу инверсий и отличиям в одной из подстановок в 4-м и 8-м S блоках по числу возрастаний).

2) По метрическим характеристикам все таблицы подстановок укладываются в границы числа совпадений по столбцам и парам строк, задаваемые оговоренными правилами проверки. Ровно половина из всех таб-

лиц подстановок представляет собой нормализованные латинские прямоугольники (состоят из противоречивых подстановок). Следует, однако, заметить, что таблицы подстановок всех S блоков стандарта имеют элементы, совпадающие с нулевой строкой [1].

3) По показателям отбора третьего уровня таблицы подстановок DES можно считать практически укладываемыми в определенные в [1] рамки случайных таблиц подстановок. Имеется, правда, небольшой выход за указанные пределы (один раз встречается 9 совпадений из 49 возможных вариантов по числу совпадений, два раза 7 и три раза 6).

В целом, однако, можно сделать общий вывод, что свойства таблиц подстановок стандарта DES оказываются достаточно близкими к свойствам случайных таблиц подстановок.

2. Проверка статистической безопасности случайных S блоков

В этом разделе излагаются результаты сопоставительной оценки статистической безопасности таблиц подстановок, построенных по методике работы [1], и S блоков стандарта DES (устанавливается их статистическая эквивалентность).

Таблицы строились с помощью программного комплекса генерации таблиц подстановок для S блоков, реализующего представленные выше принципы отбора случайных таблиц подстановок.

Проверка статистической безопасности сформированных с помощью этого комплекса таблиц выполнялась по методике, изложенной в работе [8].

Использовались три основных показателя статистической безопасности, характерные для блочных симметричных шифров, построенных на основе чередования слоёв замен и подстановок.

1. Число циклов алгоритма, начиная с которого криптограммы, полученные шифрованием двух отличающихся на один бит блоков данных (открытых текстов), становятся устойчиво независимыми (в том смысле, что при большем числе циклов они остаются независимыми). Другими словами, необходимо было определить число циклов входа в алгоритм, начиная с которого изменение одного бита открытого текста приводит к изменению шифрованного текста приблизительно (в среднем) в половине битов. Это так называемый лавинный эффект.

2. Число циклов шифрования, при котором один и тот же открытый текст зашифрованный на ключах, отличающихся на один бит, порождает устойчиво независимые (некоррелированные) криптограммы.

3. Коэффициент сжатия шифрованного текста при применении процедуры архивирования Лемпела-Зива.

Результаты проведенных статистических экспериментов полностью подтвердили эффективность использования в качестве S блоков для DEA (с

точки зрения рассматриваемых показателей статистической безопасности) случайных таблиц подстановок, построенных по предлагаемой методике.

Действительно, использование разработанных в [1-3] критериев отбора позволяет исключить все вырожденные конфигурации. При этом для случайных таблиц из разрешенного множества, как и для таблицы S блоков стандарта DES, "глубина" вхождения в алгоритм для обеспечения статистической независимости (зависимости) всех выходных бит шифрованного текста от любого входного бита не превышает 5 циклов (отсчёт числа циклов, при котором считается, что изменение входного бита практически не влияет на все выходные биты, ведется по моменту "накрытия" случайного интервала $(\bar{X} - 0,4, \bar{X} + 0,4)$, выступающего в качестве доверительной оценки математического ожидания \bar{X} с мерой надёжности $1 - \alpha = 0,999$, значения $m_w = 32$).

Выполняется также необходимая зависимость шифрованного текста от любого бита ключа при вхождении в алгоритм на глубину не более чем 5 циклов. Во всех случаях обеспечивается сжатие шифрованного текста по Лемпелу-Зиву менее чем на 10 % (аналогичное сжатию, достигаемому при шифровании с использованием стандартных S блоков).

Таким образом, действительно подтверждается полная статистическая эквивалентность в рассмотренном смысле S блоков стандарта DES и таблиц подстановок, отобранных по рассмотренной методике.

3. Проверка устойчивости случайных таблиц подстановок к атакам дифференциального и линейного криптоанализа

Дифференциальный криптоанализ был предложен Эли Бихамом и Ади Шамиром в 1990 году и впоследствии ими же неоднократно усовершенствовался [4]. Они обосновали новую атаку против алгоритма DES на основе специально подбираемых текстов, которая оказалась более эффективной, чем прямой перебор ключей. Атака для DES сильно зависит от структуры S блоков (от их "асимметрии"), которые для DES, как утверждают некоторые авторы [5], оказались оптимизированными (может быть, и не случайно) против дифференциального криптоанализа. Напомним, что дифференциальный криптоанализ строится на особенностях ("асимметрии") таблиц XOR переходов вход-выход для каждого S блока (в такой таблице строки-входы представляют возможные XORы (побитовые булевы суммы) двух различных входов S блока, столбцы-выходы представляют возможные XORы двух выходов S блока, а элементы таблицы указывают, сколько раз определенный выходной XOR встречается для данного входного XORa).

Соответственно была поставлена задача оценки эффективности в этом смысле S блоков, отобранных по изложенной выше методике. Оказалось, что в числе "случайных" S блоков сразу встретились S блоки с показателями

таблиц XOR переходов более хорошими, чем определенных в стандарте, но в то же время основная масса случайных S блоков в экспериментах получалась уступающей по показателю асимметрии S блокам стандарта. Вместе с тем первый положительный вывод, который был получен на основе этих экспериментальных данных, состоял в том, что существуют S блоки лучше, чем стандартные (можно просто заменить некоторые S блоки стандарта более эффективными). Второй важный вывод состоял в том, что использование только критериев отбора случайных подстановок и случайных таблиц подстановок [1] не обеспечивает хорошие показатели симметрии для всех таблиц подстановок, т.е. возникает необходимость введения еще одного уровня проверки (вычисление вероятностной зависимости XOR битов на выходе S блока от XOR входных битов и оценка максимального значения несимметрии для каждого S блока). В итоге методика отбора таблиц подстановок была дополнена следующим требованием проверки четвертого уровня:

Требование 1. Таблицы подстановок (S блоки) должны по максимальному значению асимметрии соответствующих им таблиц XOR переходов вход-выход не превосходить значения $s = 12$ (установлено экспериментально).

Рассматривалась также задача определения минимально возможного значения асимметрии. Попытки получить значение асимметрии, меньшее чем $s = 12$, к успеху не привели.

Наконец, остановимся кратко на идеях линейного криптоанализа. Автором этих идей является Мицури Мацуи [5]. В их основе лежит так называемая линейная аппроксимация для описания операций, выполняемых при блочном шифровании. Применительно к алгоритму DES линейная аппроксимация заключается в установлении связи между булевой побитной суммой (XOR) некоторых бит открытого текста, XOR некоторых бит шифрованного текста и XOR некоторых ключевых бит.

Мацуи показывает, что для алгоритма DES и его модификаций побитная сумма некоторых бит открытого текста и некоторых бит соответствующего ему шифрованного текста позволяет вычислить единственный бит, который является побитной суммой некоторых ключевых бит. Это и есть линейная аппроксимация. И если указанная связь поддерживается с некоторой вероятностью $p \neq \frac{1}{2}$, то это смещение может быть использовано

путём анализа собранных открытых текстов и соответствующих им шифрованных текстов для угадывания значений ключевых битов. Большее смещение увеличивает шансы успеха при тех же исходных данных.

Как известно [5], таблицы S блоков стандарта DES считаются не оптимизированными по отношению к атакам линейного криптоанализа. Максимальное значение смещения свойственно 5-му S блоку и составляет 12/64.

Соответственно была поставлена задача проверки показателей асимметрии таблиц подстановок (S блоков), формируемых предлагаемым методом.

Интересно отметить, что построение линейных аппроксимационных таблиц для S блоков с применением требования 1 привело к тому, что их показатели получились лучшими, чем у таблиц стандарта (максимальное значение асимметрии получилось равным 16). Соответственно отобранные с учетом требования 1 таблицы были оптимизированы по критерию достижимого минимального уровня асимметрии линейных аппроксимационных характеристик таблиц S блоков. Экспериментально удалось получить таблицы с максимальными показателями линейных аппроксимационных таблиц, не превосходящими значения $l = \pm 10$ (против -20 в стандарте DES). Поэтому для получения таблиц S блоков, устойчивых и к линейному криптоанализу, было введено еще одно требование к отбору таблиц подстановок, которое мы также отнесли к четвертому уровню проверок.

Требование 2. Таблицы подстановок (S блоков) по максимальному значению асимметрии соответствующих им линейных аппроксимационных таблиц не должны превосходить значения $|l| = 10$ (установлено экспериментально).

В результате удалось сформировать таблицы подстановок для алгоритма DEA, существенно превосходящие по своим характеристикам защищенности от атак дифференциального и линейного криптоанализа аналогичные таблицы S блоков для DES. В табл. 3 представлена одна из реализаций S блоков, составленных из противоречивых подстановок.

Общие выводы из приведенных результатов состоят в следующем:

1. S блоки стандарта DES, хотя они в единственной реализации используются вот уже более 20 лет, не являются уникальными. Их можно построить достаточно большое количество, так что таблицы подстановок в DEA, как и в российском стандарте ГОСТ 28147-89, могут выступать в качестве переменного параметра (долговременного ключа), правда, его размерность в 4 раза превосходит размерность ключа в ГОСТ 28147-89.

2. Развита в работе методика проверок позволяет решить задачу формирования таблиц S блоков для алгоритма DEA (DES), при этом показатели и характеристики этих таблиц превосходят по своим характеристикам аналогичные показатели таблиц подстановок для DES, предложенных разработчиками. Можно сделать общий вывод о том, что таблицы стандарта DES являются далеко не лучшими (они не оптимизированы против атаки линейного криптоанализа и недостаточно оптимизированы против атаки дифференциального криптоанализа).

3. Таблицы S блоков, сформированные по предлагаемой методике, позволяют существенно улучшить устойчивость шифра DEA против атак дифференциального и линейного криптоанализа. С большой степенью уверенности можно утверждать, что шифр DEA (DES) при использовании в нем таблиц подста-

новок, оптимизированных по рассмотренным в работе критериям, окажется более стойким к атакам дифференциального и линейного криптоанализа.

Таблица 3

Пример построенных таблиц подстановок

$S_1:$	$S_5:$
950ABC7DEF243681 D0793AB6148CEF52 6EA2F35C714890BD 8BDCE1F4230579A6	F4176089DB23EAC5 6CD51EF374890B2A E3B128705A9CD6F4 AB5DF9143C027E86
$S_2:$	$S_6:$
461D3E5FA87C9B02 7B36CD859AE20F41 B24C63D8EF9170A5 3DF78124056EBA9C	B05DCEF1248A9673 69DEF13842075ACB 437FB65C9D2E801A EF1254097A6C3BD8
$S_3:$	$S_7:$
D296E4053AB1F87C FC4289ADE017365B 578A3C4EF2061B9D 4D5EF7206B89A1C3	A2E83BC640DF5791 CD06EF42B57813A9 7F92A0D138BC465E 8B1ACDE926503F74
$S_4:$	$S_8:$
EF7253904BC6A81D 3BAD790C682514FE B05CD6EF379A2184 2EB0148D7A59F63C	B3469DEFC5287A01 9B82A0CD31476EF5 E4FC52367B1D089A DE3F045126BA89C7

Список литературы: 1. Горбенко И.Д., Лисицкая И.В. Критерии отбора случайных таблиц подстановок для алгоритма шифрования по ГОСТ 2847-89 // Радиотехника. 1997. Вып 103. С. 121-130. 2. Горбенко И.Д., Лисицкая И.В. К оценке метрических характеристик таблиц подстановок для алгоритма криптографического преобразования по ГОСТ 28147-89 // Радиотехника. 1997. Вып 104. С. 151-162. 3. Бильчук В.М., Лисицкая И.В. Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 1998. № 1. С. 10-17. 4. E. Biham, A. Shamir, Differential Cryptanalysis of DES-like Cryptosystems, Journal of Cryptology. 1991. Vol. 4. № 1. P. 3-72. 5. Sheier B. Applied Cryptography. Second Edition: protocols, algorithms, and source code in C. Published by John Wiley & Sons. Inc, New York: Chichester Brisbane Toronto Singapore, 1996. 158 p. 6. Барсуков В.С., Дворянkin С.В., Шеремет И.А. Безопасность связи в каналах телекоммуникаций. М.: Россия, 1993. Т.20. 123 с. 7. Кононова И.В. Противоречивые подстановки в алгоритме ГОСТ 28147-89 // Информационные системы. Харьков: НАНУ, ПАНУ, ХВУ. 1995. С. 70-77. 8. Горбенко И.Д., Лисицкая И.В., Коряк А.С. Анализ стойкости алгоритма ГОСТ 28147-89 при использовании подстановок случайного типа // Радиоэлектроника и информатика. 1998. №1 (02). С. 39-43.

Поступила в редколлегию 14.12.98

Н.Я. КАКУРИН, А.Н. МАКАРЕНКО

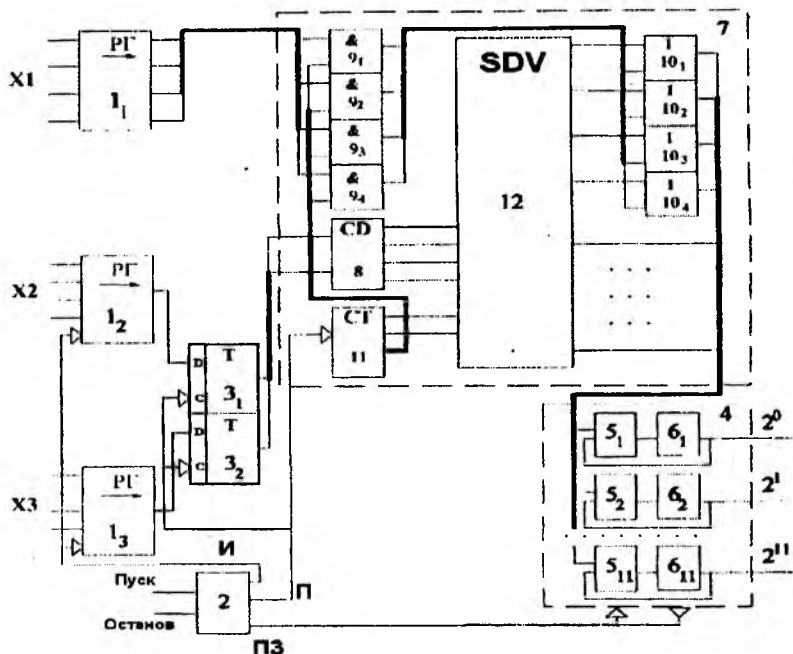
ЧЕТЫРЕХШАГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОДОВ НА РЕГИСТРАХ СДВИГА

В бионических исследованиях широко применяются различные цифровые модели [1]. Обработка результатов таких исследований, представленных обычно в десятичной системе счисления, в целях ускорения обработки выполняется на ЭВМ, функционирующих в двоичной системе счисления.

Поэтому зачастую необходимы специальные преобразователи цифровых кодов (ПК) из K -ичных систем счисления в двоичную. ПК входят в состав специальных быстродействующих вычислительных систем и ряд интерфейсов. Существующие ПК отличает недостаточно высокое быстродействие или повышенные аппаратные затраты [2,3]. Рассмотрим структуру и функционирование оригинального 4-шагового ПК на регистрах сдвига, который имеет высокое быстродействие и малые аппаратные затраты [4].

На рисунке приведена структурная схема ПК двоично- K -ичного кода целых чисел в двоичный код для $K = 12$; $k = n = 3$. Для ПК целых чисел в формирователь эквивалентов (ФЭ) включены группы из четырех элементов И и четырех элементов ИЛИ (9_i и 10_i соответственно), которые на заключительном этапе трансляции младшего разряда X_1 обеспечивают его передачу на выходы ФЭ.

Преобразователь содержит группу из n разрядных регистров 1 сдвига (где n - разрядность входного кода), параллельные информационные входы которых являются входами преобразователя; генератор 2 импульсов, содержащий прямой П, инверсный И, прямой задержанный ПЗ выходы; группу из $(n-1)$ -го триггера 3 состояния, при этом информационные входы i -го триггера 3 состояния ($i = 1, n-1$) соединены с выходом первого бита $(i+1)$ -го разрядного регистра 1, входы сдвига которых соединены с инверсным выходом генератора 2 импульсов; накапливающий сумматор 4, выполненный из комбинационного двоичного сумматора 5 и регистра 6 результата, выходы которого являются выходами преобразователя и соединены с соответствующими вторыми входами комбинационного двоичного сумматора 5, младшие первые входы которого являются младшими информационными входами накапливающего сумматора 4. Формирователь 7 эквивалентов состоит из шифратора 8, группы элементов И 9, группы элементов ИЛИ 10, суммирующего счетчика 11 импульсов с предустановкой и комбинационного сдвигателя 12, выполненного на комбинационных мультиплексах.



Структура преобразователя кодов на регистрах сдвига

Цепи инициирования и сброса на рисунке не приведены. Устройство работает следующим образом. Группа триггеров 3 состояния фиксирует значение первых бит соответствующих старших разрядных регистров 1.

Так как в конкретном случае $n=3$, $K=12$, то диапазон изменения входного кода от 0 до $(12^3 - 1) = 0 - 1727_{(10)}$. Код состояний триггеров 3 может иметь четыре значения от 00 до 11.

В рассматриваемом преобразователе двоично- K -ичного кода в двоичный код формирователь эквивалентов 7, выполненный в виде последовательного соединения шифратора 8, счетчика 11 с предустановкой и сдвигателя 12 реализует функцию (1)

$$S = \begin{cases} KС1 + K^2С2 & \text{при } j=1, \\ aKС1 + aK^2С2 & \text{при } j=2, \\ bKС1 + bK^2С2 & \text{при } j=3, \\ cKС1 + cK^2С2 & \text{при } j=4, \\ X1 & \text{при } j=5, \end{cases} \quad (1)$$

где a - параметр (второй шаг преобразования); b - параметр (третий шаг преобразования); c - параметр (четвертый шаг преобразования); X_1 - младшая тетрада преобразуемого целого числа; K - основание системы счисления; j - номер такта сдвига. Формирователь эквивалентов 7 преобразует вначале в первом такте двоичный код $C_1 C_2$ триггеров состояния, соответствующих значениям бита 1 старших разрядных регистров 1. Во втором такте преобразует со сдвигом влево на один разряд (в сторону старших двоичных разрядов) код $C_1 C_2$ триггеров 3 состояния, соответствующих значениям бита 2 старших разрядных регистров 1. В третьем такте преобразует со сдвигом влево на два разряда код $C_1 C_2$ триггеров 3 состояния, соответствующих значениям бита 4 старших разрядных регистров 1. В четвертом такте преобразует со сдвигом влево на три разряда код $C_1 C_2$ триггеров 3 состояния, соответствующих значениям бита 8 старших разрядных регистров 1, и в пятом такте транслирует (передает без изменения) на выход формирователя 7 эквивалентов младшую тетраду X_1 преобразуемого целого числа.

Рассмотрим работу устройства на следующем примере. Пусть требуется преобразовать входной 12-ичный код числа

$$A_0 = 1011\ 0110\ 1001_{(2-12)} = B69_{(12)} = 1665_{(10)};$$

Для определенности примем значения параметров a, b, c равными значениям весов второго, третьего и четвертого битов тетрады, т.е. $a = 2, b = 4, c = 8$.

Формирователь эквивалентов в данном случае реализует функцию (2)

$$S = \begin{cases} 12C_1 + 12^2C_2 & \text{при } j=1, \\ a12C_1 + a12^2C_2 & \text{при } j=2, \\ b12C_1 + b12^2C_2 & \text{при } j=3, \\ c12C_1 + c12^2C_2 & \text{при } j=4, \\ X_1 & \text{при } j=5, \end{cases} \quad (2)$$

где a, b, c - весовые коэффициенты соответствующих разрядов, а X_1 - младшая тетрада преобразуемого целого числа. Преобразование двоичных кодов $C_1 C_2$ триггеров 3 состояния соответствует таблице ($K=12; a=2; b=4; c=8$).

В исходном состоянии регистр 6 результата обнулен, на прямом П и задержанном ПЗ выходах генератора 2 - низкий уровень; на инверсном И выходе генератора 2 - высокий уровень.

Запись информации в триггеры 3 состояния с первых (младших) выходов соответствующих старших разрядных регистров 1 сдвига производится перепадом 0 - 1, т.е. по переднему фронту импульсов с прямого выхода П генератора 2; сдвиг вправо в старших разрядных регистрах 1 также производится перепадом 0 - 1, т.е. по заднему фронту импульсов с

инверсного выхода И генератора 2. Первоначальное занесение параллельного двоично-12-ичного кода преобразуемого числа в разрядные регистры 1 и предустановка суммирующего счетчика 11 формирователя эквивалентов 7 в состояние $100_2 = 4_{10}$ выполняется подачей нулевого сигнала на входы V разрядных регистров 1 сдвига и на вход параллельного занесения V счетчика 11. Запись информации в регистр результата производится перепадом 1 - 0 импульса с прямого задержанного выхода ПЗ генератора 2. С приходом переднего фронта первого положительного импульса с прямого выхода генератора 2 состояние суммирующего счетчика 11 по mod 5 изменится с 100_2 на 000_2 ; нулевой код триггеров 3 состояния изменится с C2 C1 = 0 0 на C2 C1 = 1 0.

Такт	Триггеры состояния	Общий вид эквивалента	Десятичный код эквивалента	Левый сдвиг	Значение выходных разрядов Y _i
j	C2 C1	S	S ₁₀	m	11-1
1	0 0	0	0	0	000 0000 0000
	0 1	K	12		000 0000 1100
	1 0	K ²	144		000 1001 0000
	1 1	K ² + K	156		000 1001 1100
2	0 0	0	0	1	000 0000 0000
	0 1	aK	24		000 0001 1000
	1 0	aK ²	288		001 0010 0000
	1 1	aK ² + aK	312		001 0011 1000
3	0 0	0	0	2	000 0000 0000
	0 1	bK	48		000 0011 0000
	1 0	bK ²	576		010 0100 0000
	1 1	bK ² + bK	624		010 0111 0000
4	0 0	0	0	3	000 0000 0000
	0 1	cK	96		000 0110 0000
	1 0	cK ²	1152		100 1000 0000
	1 1	cK ² + cK	1248		100 1110 0000
5	0 0	X1	X1	0	Трансляция тетрады X1

Этот код C2 C1 = 1 0 поступает на входы ФЭ 7 и преобразуется в двоичный код числа 144 на выходе. Поступая с выхода ПЗ генератора 2, передний фронт первого положительного задержанного импульса ПЗ разрешит сложение чисел 0 и 144, а задний фронт этого же импульса произведет запись информации с выходов сумматора 5 в регистр 6 результата, установив на вторых суммирующих входах сумматора 5 двоичное значение числа 144.

С приходом заднего фронта первого отрицательного импульса с инверсного выхода И генератора 2, т.е. по перепаду 1 - 0 на входах синхронизации С старших разрядных регистров 1 произойдет сдвиг информации

в этих регистрах на один разряд, т.е. в регистрах 1 установится число $A_1 = 0101\ 0011\ 1001$.

С приходом переднего фронта второго положительного импульса с прямого выхода генератора 2 состояние суммирующего счетчика 11 изменится с 000 на 001, что приведет к сдвигу влево на один разряд выходного двоичного кода шифратора 8 с помощью сдвигателя 12 и к записи в триггеры 3 состояния кода $C_2\ C_1 = 1\ 1$. На выходах ФЭ 7 появится двоичный код числа 312. Передний фронт второго положительного задержанного импульса с выхода ПЗ генератора 2 разрешит сложение чисел 144 и 312, а задний фронт этого же импульса произведет перезапись результата суммирования с выходов сумматора 5 в регистр 6 результата, установив на вторых суммирующих входах сумматора 5 двоичное значение числа 456. Задний фронт второго отрицательного импульса установит в разрядных регистрах 1 сдвига число $A_2 = 0010\ 0001\ 1001$.

С приходом переднего фронта третьего положительного импульса с прямого выхода генератора 2 состояние суммирующего счетчика 11 изменится с 001 на 010, что приведет к сдвигу влево на два разряда выходного двоичного кода шифратора 8 с помощью сдвигателя 12 и к записи в триггеры 3 состояния кода $C_2\ C_1 = 0\ 1$. На входах ФЭ 7 появится двоичный код числа 48. Передний фронт третьего прямого задержанного импульса разрешит сложение чисел 456 и 48, а задний фронт этого же импульса произведет перезапись результата суммирования с выходов сумматора 5 в регистр 6 результата, установив на вторых суммирующих входах сумматора 5 двоичное значение числа 504. Задний фронт третьего отрицательного импульса установит в разрядных регистрах 1 сдвига число $A_3 = 0001\ 0000\ 1001$.

С приходом переднего фронта четвертого положительного импульса с прямого выхода генератора 2 состояние суммирующего счетчика 11 по под 5 изменится с 010 на 011, а код триггера 3 состояния-с $C_2\ C_1 = 0\ 1$ на $C_2\ C_1 = 1\ 0$. Код $C_2\ C_1 = 1\ 0$ поступает на входы ФЭ 7 и преобразуется в двоичный код числа 1152. Передний фронт четвертого прямого задержанного импульса с выхода ПЗ генератора 2 разрешит сложение чисел 1152 и 504, а задний фронт этого же импульса произведет перезапись результата суммирования в регистр 6 результата, установив на вторых суммирующих входах сумматора 5 двоичное значение числа 1656. Задний фронт четвертого импульса с выхода И генератора 2 установит в разрядных регистрах 1 сдвига число $A_4 = 0000\ 0000\ 1001$.

С приходом переднего фронта пятого положительного импульса с прямого выхода генератора 2 в счетчике 11 установится состояние 100, а код триггеров 3 состояния с $C_2\ C_1 = 1\ 0$ изменится на $C_2\ C_1 = 0\ 0$. В этом случае ФЭ 7 транслирует двоичный код младшего разряда преобразуемого

числа X_1 с регистра 1 на соответствующие четыре первых суммирующих входа сумматора 5. Передний фронт пятого задержанного импульса разрешит сложение чисел 1656 и 9, а задний фронт этого же импульса установит двоичный код числа 1665 на выходах устройства. На этом процесс преобразования заканчивается. Перед каждым следующим преобразованием необходимо обнулить регистр 6 результата и выполнить запись преобразуемого двоично-12-ичного числа в регистры 1 сдвига.

Заметим, что быстродействие ПК не зависит от разрядности преобразуемого кода и для 10-ичной и 12-ичной системы счисления не превышает пяти тактов. Анализ разных структурных решений ПК с различным числом шагов преобразования с позиций теории автоматов позволяет сделать вывод, что организация четырехшагового ПК с последовательным использованием шагов преобразования на регистрах сдвига соответствует структуре операционного автомата типа М, синтезируемого на основе принципа обобществления комбинационных схем, что позволяет существенно снизить аппаратные затраты.

В ПК дробных чисел из ФЭ исключают группы схем И 9 и ИЛИ 10. Преобразование числа выполняют не за пять, а за четыре такта. Предустановка счетчика 11 должна в этом случае осуществляться на состояние 3, а не на 4.

Список литературы: 1. *Маленченко З.Ю., Шабанов-Кушнарченко Ю.П.* О бионических частотно-импульсных цифровых моделях //Пробл. бионики, 1984. Вып.32. С.3-6. 2. А.с. 1126946 G06F. Преобразователь двоично-К-ичного кода в двоичный код /А.И. Слобожанин //Открыт. Изобрет. 1984. №44. С.250. 3. А.с. 1647908 H03M 7/12. Преобразователь двоично-К-ичного кода в двоичный код /Н.Я. Какурин, Ю.К. Кирьяков, А.Н. Макаренко //Открыт. Изобрет. 1991. №17. С.262-263. 4. Патент України на винахід 24674А H03M 7/12. Перетворювач двійково-К-значного коду у двійковий код /М.Я. Какурін, Г.М. Макаренко, Ю.В. Лопухін, Я.Ю. Лопухін, Л.К. Штець //Промислова власність. 1998. №3. С. 476.

Поступила в редколлегию 18.11.98

А.С. КАЛИНОВСКИЙ, В.И. РУБЛИНЕЦКИЙ, Н.В. РЯБОВА

О МАШИННОМ ПОНИМАНИИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ. ПОДХОД НА ОСНОВЕ Т-Т МЕТОДА

Вопрос о том, может ли машина понимать тексты естественного языка, широко обсуждался в работах известных ученых - разработчиков интеллектуальных систем, начиная с 50-х годов. Как известно, А. Тьюринг [1] предложил считать этот вопрос составной частью вопроса «может ли машина мыслить?». Для конструктивного ответа на эти вопросы, включающие нечетко определенные понятия («понимать», «мыслить»), он предложил следующий выход из положения: «Вместо того, чтобы дать такого рода определения, я заменю наш вопрос другим, который тесно с ним связан и выражается словами с относительно четким смыслом» [1, с. 13]. Далее А. Тьюринг описывает свой тест, «игру в имитацию». Используем аналогичный подход, реализующий методику компараторной идентификации лингвистических объектов [2] и позволяющий на основе формальных методов сравнения двух текстов выяснить, обладают ли они одинаковым смыслом.

Предлагаем следующую методику компараторной идентификации естественно-языковых (ЕЯ) текстов. Пусть в экспериментальной информационной базе имеется некоторое множество ЕЯ текстов, предъявляемых машине для анализа:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}.$$

Тексты, являющиеся элементами множества T , будем называть *Тест-Текстами* (*Test-Text*). Соответственно, метод определения схожести двух текстов по смыслу на основе методики *тест-текстов* назовем *Т-Т методом*. Для упрощения задачи и отработки методики будем пока предполагать, что тестируемые тексты t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) на одном языке, например, русском или английском. Тексты подберем таким образом, что некоторые из них схожи по смыслу, что будем обозначать знаком равенства: $t_i = t_k$. «Идентичность» или «похожесть» текстов в экспериментальной информационной базе устанавливается человеком-экспертом (компетентным в исследуемой предметной области). Мету «похожести» текстов объясним ниже.

Два текста из множества T , скажем, t_i и t_k , предъявляем машине для идентификации. Она определяет, обладают ли эти тексты одинаковым

смыслом. Реакцией машины будет значение предиката E , который определим следующим образом:

$$E(t_i, t_k) = \begin{cases} \text{true, если машина решит, что } t_i = t_k, \\ \text{false, если машина решит, что } t_i \neq t_k. \end{cases}$$

Результатом теста будем считать значение предиката:

$$U(E(t_i, t_k)) = \begin{cases} \text{true, если машина права,} \\ \text{false, если машина не права.} \end{cases}$$

Результат теста задаем следующим решающим правилом в формате *if - then - else*:

$$\text{if } t_i = t_k \text{ and } E \text{ or } t_i \neq t_k \text{ and } \neg E \text{ then } U \text{ else } \neg U.$$

Обсудим теперь, каким условиям должны удовлетворять тест-тексты, которые надлежит включить в множество T . Очевидно, что эти тексты должны быть достаточно короткими, чтобы исследование не утонуло в чисто технических трудностях, и приблизительно одинаковой длины, чтобы машина не могла пользоваться тривиальным признаком длины текста для различения. Самым обильным и доступным источником текстов, различающихся по форме и совпадающих по общему смыслу, являются переводы одного и того же оригинала разными переводчиками.

Рассмотрим примеры выбора тест-текстов разных жанров. Очевидно, что наиболее приемлемые и корректные образцы Т-Т можно обнаружить в классической литературе. Например, история грехопадения Адама и Евы встречается в следующих двух особо тщательных переводах на английский язык: переводе Библии (перевод – the new King James Version) и переводе Торы (перевод JPS). В таблице приводятся восемь тест-текстов из двух разных переводов, в которых отражены четыре смысловых фрагмента истории Адама и Евы:

The Bible, Genesis 3.1 – 3.7	The Torah, Genesis 3.1 – 3.7
<p style="text-align: center;">IB</p> <p>Now the serpent was more cunning than any beast of the field which the Lord God had made. And he said to the woman, «Has God indeed said, 'You shall not eat of every tree of the garden'?»</p>	<p style="text-align: center;">IT</p> <p>Now the serpent was the shrewdest of all the wild beasts that the Lord God had made. He sad to the woman, «Did God really say: You shall not eat of any tree of the garden?»</p>

Продолжение таблицы

The Bible, Genesis 3.1 – 3.7	The Torah, Genesis 3.1 – 3.7
<p>2-3B</p> <p>And the woman said to the serpent, «We may eat the fruit of the trees of the garden; but of the fruit of the tree which is in the midst of the garden, God has said. 'You shall not eat it, nor shall you touch it, lest you die.'»</p>	<p>2-3T</p> <p>The woman replied to the serpent, «We may eat of the fruit of the other trees of the garden. It is only about fruit of the tree in the middle of the garden that God said: you shall not eat of it or touch it lest you die».</p>
<p>4-5B</p> <p>And the serpent said to the woman, «You will not surely die. For God knows that in the day you eat of it your eyes will be opened, and you will be like God, knowing good and evil».</p>	<p>4-5T</p> <p>And the serpent said to the woman, «You are not going to die, but God knows that as soon as you eat of it your eyes will be opened and you will be like divine being, who know good and bad».</p>
<p>6B</p> <p>So when the woman saw that the tree was good for food, that it was pleasant to the eyes, and a tree desirable to make one wise, she took of its fruit and ate. She also gave to her husband, and he ate.</p>	<p>6T</p> <p>When the woman saw that the tree was good for eating and a delight to the eyes, and that the tree was desirable as a source of wisdom, she took of its fruit and ate. She also gave some to her husband, and he ate.</p>

Несмотря на кажущуюся простоту выбранных тест-текстов, они позволяют наглядно продемонстрировать несколько алгоритмов возрастающей сложности, которые надежно решают задачу распознавания похожих по смыслу текстов и при этом не затрагивают работу собственно с семантикой текста. Рассмотрим сначала самый простой алгоритм идентификации двух текстов.

Алгоритм А1

1. Выбрать два произвольных текста t_i и t_k .
2. Посчитать v_{ik} – число словоформ в пересечении t_i и t_k (учитывая разные словоупотребления одного слова как разные элементы):

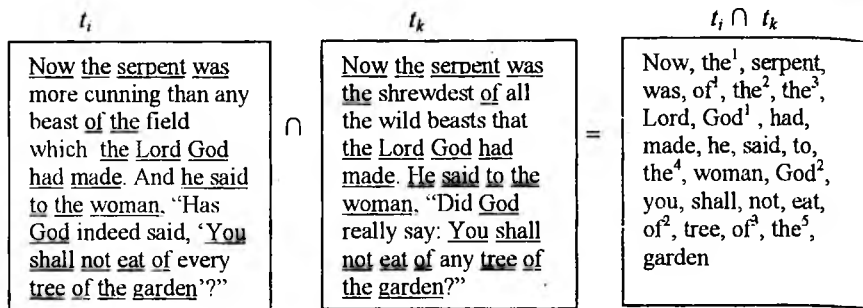
$$v_{ik} = |t_i \cap t_k|.$$

3. Посчитать средний размер множества $t_{ik} = u_{ik} / 2$, где u_{ik} – число словоформ в объединении t_i и t_k :

$$u_{ik} = |t_i \cup t_k|.$$

4. Выдать ответ: если $c_{ik} = v_{ik} / t_{ik} > p$, то $E = true$ else $E = false$. (Здесь p : $0 \leq p < 1$ – некий порог, числовое значение которого будет выбрано позже).

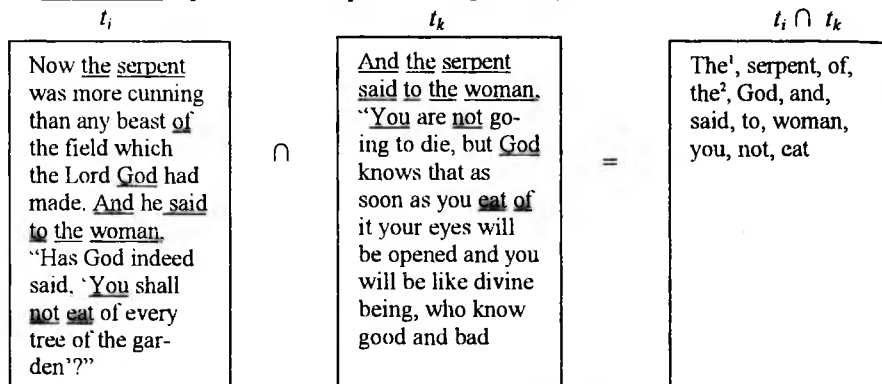
Пример 1. Применим алгоритм А1 к тест-текстам $t_i = 1B$, $t_k = 1T$:



Отсюда: $v_{ik} = 26$, $u_{ik} = 74$, $c_{ik} = v_{ik}/t_{ik} = 26/37 = 0,70$.

Очевидно, что если взять для сравнения не похожие тексты, то c_{ik} будет явно меньше. Покажем это на примере.

Пример 2. Применим алгоритм А1 к $t_i = 1B$, $t_k = 4-5T$:



Отсюда: $v_{ik} = 12$, $u_{ik} = 79$, $c_{ik} = v_{ik}/t_{ik} = 12,2/79 = 0,30$.

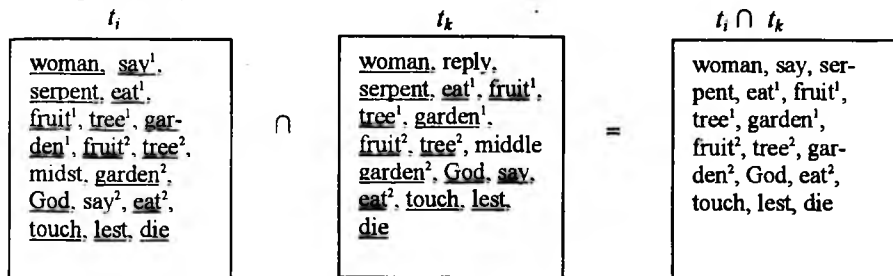
Алгоритм А1 легко усовершенствовать, введя в него (достаточно сложную) процедуру морфологического преобразования словоформ к каноническому виду и удалив "антипризнаки". (термин Р.Г. Пиотровского [3]). т.е. слова, которые наиболее часто встречаются во многих текстах и только затемняют статистические свойства. Списки антипризнаков для русского и английского языков приводятся соответственно в [4, с.335; 5, с.10]. Таким образом, можно сформулировать модифицированный алгоритм для выявления двух текстов, похожих по смыслу.

Алгоритм А2

1. Выбрать два произвольных текста t_i и t_k , привести все слова к каноническому виду, отбросить антипризнаки.

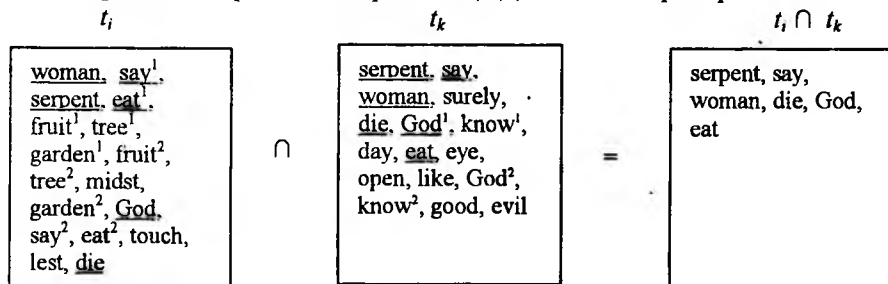
2 - 4. Аналогично алгоритму А1.

Пример 3. Применим алгоритм А2 к $t_i = 2-3В$, $t_k = 2-3Т$. (Заметим, что слова типа *and, the, to, of, but, is, in, not, nor, may* содержатся в перечне антипризнаков). Итак, имеем:



Отсюда: $v_{ik} = 15$, $u_{ik} = 34$, $c_{ik} = v_{ik}/t_{ik} = 15.2/34 = 0,88$. Проверим теперь, какова эффективность алгоритма А2 при работе с текстами, не похожими по смыслу.

Пример 4. Применим Алгоритм 2 к $t_i = 2-3В$, $t_k = 4-5В$. (Слова *and, the, to, may, of, but, is, in, has, shall, not, nor, it, you, we, other, only, about, that* содержатся в перечне антипризнаков). Для данного примера имеем:



Отсюда: $v_{ik} = 6$, $u_{ik} = 33$, $c_{ik} = v_{ik}/t_{ik} = 6.2/33 = 0,36$.

Как видим, эффективность алгоритма А2 выше, чем А1 вследствие учета антипризнаков и сведения слов к канонической форме. Очевидно, что следующий прием, повышающим эффективность распознавания текстов с одинаковым смыслом, может быть учет синонимов в текстах. Введем следующий алгоритм (теперь, кроме словаря антипризнаков, необходим еще и словарь синонимов):

Алгоритм А3

- 1 – 2. Первые два шага реализуются так же, как в А2.
3. Подсчитать число равных и/или синонимичных слов в двух текстах t_i и t_k .
4. Как в А1.

Пример 5. При $t_i = 2\text{-ЗВ}$, $t_k = 2\text{-ЗТ}$ в «пересечение» текстов добавятся элементы $say = reply$, $middle = midst$. В результате получаем: $v_{ik} = 17$, $u_{ik} = 34$, $c_{ik} = v_{ik}/t_{ik} = 17.2/34 = 1$.

Пример 6. Для текстов, рассмотренных в примере 2, имеем:

$t_i = 1\text{В}$, $t_k = 4\text{-ЗТ}$, $v_{ik} = 5$, $u_{ik} = 30$, $c_{ik} = v_{ik}/t_{ik} = 5.2/30 = 0,33$.

Для текстов $t_i = 2\text{-ЗВ}$ и $t_k = 4\text{-ЗВ}$, рассмотренных в примере 4, по-прежнему имеем: $c_{ik} = 6.2/33 = 0,36$.

Как видим, для несхожих текстов алгоритм А1 может показать немного лучший результат различения, чем А2 и А3 (0,30 против 0,36), поскольку считает различными все словоформы одного слова и суммирует в общее количество анализируемых слов все слова-антипризнаки.

Пример 7. По словесному составу больше всего отличаются похожие по смыслу тест-тексты 4-5В и 4-5Т из таблицы. Применим к ним алгоритмы А1 – А3 и сравним результаты:

Алгоритм А1: $v_{ik} = 29$, $u_{ik} = 80$, $c_{ik} = 29.2/80 = 0,73$.

Алгоритм А2: $v_{ik} = 12$, $u_{ik} = 30$, $c_{ik} = 12.2/30 = 0,80$.

Алгоритм А3: $v_{ik} = 13$, $u_{ik} = 30$, $c_{ik} = 13.2/30 = 0,87$.

Алгоритм А1 получил приемлемый результат из-за общих антипризнаков: $t_i \cap t_k = \{and^1, and^2, and^3, the^1, the^2, to, you^1, you^2, you^3, your, not, that, of, it, will^1, will^2, be^1, be^2\}$. Алгоритм А2 выдал значение c меньшее, чем алгоритм А3, поскольку не учитывает синонимии: $evil = bad$. Из просчитанных примеров видно, что для Алгоритма А3 можно взять $p = 0,8$ (значение числового порога, такого, что должно выполняться условие $0 < p < 1$). Таким образом, мы показали, что предложенные алгоритмы довольно эффективно работают на простых текстах. Очевидно также, что для решения вопроса о смысловой схожести более сложных текстов необходимо учитывать лингвистические закономерности семантического уровня.

Список литературы: 1. Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М.: Физматгиз, 1960. 112 с. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю.П., Шаронова Н.В. Компараторная идентификация лингвистических объектов. К.: Ин-т системных исследований образования Украины, 1993. 116 с. 3. Пиотровский Р.Г. Текст, машина, человек. Л.: Наука, 1975. 328 с. 4. Прокопенко А.И., Вайнер В.Г., Талкин В.Л. Экономико-экологическое моделирование. Х.: АО «Бизнес-информ», 1997. 360 с. 5. Прокопенко А.И. Количественные методы оценки учебников английского языка: 9000 наиболее употребляемых слов в английской разговорной речи / Под ред. В.Г. Вайнера. Х.: АО «Бизнес-информ», 1997. 142 с.

Поступила в редколлегию 05.10.98

А.В. ЦЫМБАЛ

ДИНАМИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ КЛАССИФИКАТОРОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Интеллектуальный анализ данных (data mining) – это процесс нахождения заранее неизвестных и потенциально интересных образов и отношений в больших базах данных [8]. В настоящее время архивы данных быстро растут и содержат огромное количество данных из коммерческих, научных и других областей. Возможности в сборе и хранении всех типов данных превосходят возможности в анализе, резюмировании и извлечении знаний из данных. В последнее время большое количество методов анализа данных было разработано для извлечения знаний из больших баз данных. Во многих случаях приходится решать задачу оценки и выбора самого подходящего метода или группы методов. Эта статья рассматривает проблему оценки и выбора классификаторов, как одних из самых распространенных методов анализа данных. В течение последних нескольких лет для различных практических задач исследователи в областях машинного обучения, распознавания образов и статистики стараются объединить усилия в изучении создания и объединения множества классификаторов. Основная цель интеграции нескольких классификаторов – получить более точное предсказание, чем может быть получено от каждого классификатора в отдельности. Для различных практических задач было показано, что интеграция множества классификаторов может дать точность большую, чем наилучший базовый классификатор. Основной вопрос рассматриваемой задачи – решить, какие модели выбрать для предсказания, или как объединить результаты классификаторов. Различные подходы к интеграции классификаторов рассмотрены в [1 - 6].

Рассмотрим постановку задачи интеграции нескольких классификаторов. Предположим, заданы обучающая выборка T и множество классификаторов S . Обучающая выборка T – это множество $\{(x_i, y_i), i = 1, \dots, n\}$, где n – число обучающих примеров, x_i – i -й обучающий пример, представленный как вектор атрибутов $\{x_j\}, j = 1, \dots, l$ (значения атрибутов числовые, номинальные или символьные), и $y_i \in \{c_1, \dots, c_k\}$ – действительный класс i -го примера, где k – общее число классов. Множество классификаторов – $S = \{C_1, \dots, C_m\}$, где m – число имеющихся классификаторов (называемых далее *базовыми классификаторами*). Каждый базовый классификатор или получен с помощью неко-

торого обучающего алгоритма, или создан вручную, используя некоторые эвристические знания. Новый пример x^* – присвоение значений вектору атрибутов $\{x_j\}$. Задача интеграции классификаторов заключается в оптимальном использовании заданного множества классификаторов S для классифицирования каждого нового примера наилучшим образом.

В последних исследовательских работах для интеграции множества классификаторов используются два основных подхода. Один рассматривает *объединение* результатов базовых классификаторов, тогда как другой – *выбор* наилучшего классификатора для анализа данных. В последнее время были предложены несколько эффективных методов *объединения* результатов базовых классификаторов. Это объединение классификаторов по схеме стекирования (стекового обобщения) [1], метод “SCANN”, основанный на анализе соответствий и правиле ближайших соседей [5], объединение минимальных классификаторов по ближайшим соседям [6] и т.д. Все эти подходы основаны на схеме стекового обобщения, предложенной Волпертом в [1].

Несколько эффективных подходов были также недавно предложены для *выбора* наилучшего классификатора. Один из самых популярных и наиболее простых методов выбора классификаторов – большинство перекрестной проверки, БПП [4]. В БПП точность перекрестной проверки каждого классификатора оценивается на обучающих данных, и выбирается классификатор с наибольшей точностью. В случае равных точностей используется голосование классификаторов с наибольшей точностью. Более сложными подходами к выбору классификаторов, например, являются обучение мета-уровневых классификаторов (‘судей’), которые предсказывают точность каждого из базовых классификаторов [4]; предсказание локальной точности классификаторов по их точности в похожих примерах [3]. Множество известных методов выбора классификаторов может быть разбито на два подмножества: *статического* и *динамического* выбора. Статические методы предлагают один “лучший” классификатор для всего пространства данных, тогда как выбор динамическими методами зависит от каждого нового анализируемого примера. БПП – это пример статического метода, тогда как другие рассмотренные выше методы выбора классификаторов и предлагаемый в этой статье метод являются динамическими.

Рассмотрим новый вариант метода выбора классификаторов с помощью перекрестных проверок, который использует метрику для локальной оценки ошибок различных базовых классификаторов. Вместо объединения результатов различных классификаторов или выбора одного классификатора для всех данных предлагается выбирать подходящий классификатор динамически для каждого нового поступившего примера. Основной задачей предлагаемого метода является использо-

вание каждого базового классификатора только в той подобласти, в которой он является достаточно надежным, и, таким образом, общие результаты могут быть значительно лучше, чем при выборе отдельного наилучшего классификатора.

Предлагаемый метод состоит из двух этапов, как и стековое обобщение. На этапе обучения формируется и запоминается (стекируется) матрица производительности. Она содержит информацию о производительности каждого из базовых классификаторов на каждом обучающем примере. На втором этапе, этапе применения, объединяющий классификатор (классификатор по взвешенным ближайшим соседям) используется для предсказания производительности каждого из базовых классификаторов на новом примере. В этом методе для конечной классификации используется только классификатор с наилучшей предсказанной производительностью. В случае равенства производительностей используется классификатор с наименьшим порядковым номером (базовые классификаторы заранее упорядочиваются).

В [2, 3] метод скользящего экзамена [6, 7] был использован для вычисления ошибок базовых классификаторов на обучающей выборке. Метод скользящего экзамена очень трудоемок. В [2, 3] он был применен вместе с несколькими методами предварительной обработки данных (методом главных компонент и другими), что сократило время, требуемое на скользящий экзамен. В случаях, когда обучающая выборка содержит много обучающих примеров с большим количеством атрибутов, более целесообразно использовать метод перекрестной проверки [7].

Вместо алгоритма генерации деревьев решений C4.5, использованного в [4] для предсказания ошибок базовых классификаторов, предлагается использовать классификацию по взвешенным ближайшим соседям [14]. Классификация по ближайшим соседям упрощает этап обучения составного классификатора. Составной классификатор, который использует классификацию по ближайшим соседям, не требует обучения m судей (метауровневых классификаторов), как в [4]. На этапе обучения необходимо только вычислить матрицу производительности базовых классификаторов. На этапе применения среди обучающих примеров находятся ближайшие соседи нового примера, и соответствующие производительности базовых классификаторов используются для предсказания производительности каждого из базовых классификаторов. В этом вычислении суммируются соответствующие показатели производительности классификаторов, используя веса, которые зависят от расстояния между новым примером и его ближайшими соседями.

Использование классификации по ближайшим соседям как метаклассификатора основано на предположении, что каждый классификатор имеет определенные подобласти в пространстве признаков, где он является более надежным, чем другие. Это предположение подтверждается наблюдениями, что базовые классификаторы обычно хорошо работают не в отдельных точках предметного пространства, а в определенных областях пространства. Производительность классификатора обычно изменяется постепенно при переходе от одного примера к другому близлежащему примеру. Таким образом, если классификатор не работает хорошо на примерах-«соседях» нового примера, то очень вероятно, что он не будет хорошо работать и на новом примере. Конечно, обучающая выборка должна быть представительной, чтобы это утверждение было достаточно правомерным.

Для оценки предлагаемого метода динамического выбора классификаторов (ДВК) было проведено измерение его точности предсказания на тестовых данных, а его точность была сравнена с такими хорошо известными и широко используемыми алгоритмами интеграции множества классификаторов, как голосование (Голос) и большинство перекрестной проверки (БПП)[4] на базах данных заболеваний печени и сердечных болезней из архива машинного обучения Университета Калифорнии в Ирвине [9]. В качестве базовых были использованы три классификатора [7]: дискриминантная адаптивная классификация по ближайшим соседям, классификация по k ближайшим соседям и линейный дискриминантный анализ. База данных заболеваний печени содержит 345 примеров по 7 числовых атрибутов, а база данных сердечных болезней – 270 примеров по 13 атрибутов [9]. Обе базы данных не содержат пропущенных значений.

Для оценки предложенного метода и построения графиков обучения было проведено несколько испытаний со случайно выбранными тестовыми и обучающими выборками. Рис. 1 и рис. 2 показывают соответствующие результаты описанных выше экспериментов. В целом, точность предсказания динамического выбора выше, чем голосования, и голосования, чем большинства перекрестной проверки. Затраченное время было значительно меньше у динамического выбора, потому что предлагаемый метод использовал более простой и более быстрый метод, где это было возможно. Результаты этих сравнений показывают, что предложенный метод динамического выбора часто дает более точные результаты, чем два других метода, и сокращает требования ко времени этапа применения. Однако, дальнейшие исследования необходимы для сравнения предложенного метода с другими на реальных задачах с большими базами данных. Предложенный метод может легко быть расширен, чтобы учитывать другие критерии производительности классификаторов в будущем.

База данных "Сердце"



Рис. 1

База данных "Печень"

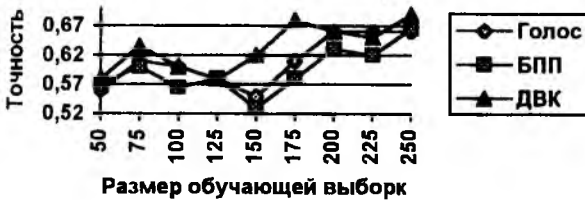


Рис. 2

Список литературы: 1. *D.Wolpert*, Stacked Generalization, In: *Neural Networks*, 1992, 5, pp.241-259. 2. *V. Terziyan, A. Tsymbal, S. Puuronen*, The Decision Support System for Telemedicine Based on Multiple Expertise, In: *International Journal of Medical Informatics*, Elsevier Science, 49(2), 1998, pp. 217-229. 3. *A. Tsymbal, S.Puuronen, V.Terziyan*, Advanced Dynamic Selection of Diagnostic Methods, In: *Proc. 11th IEEE Symp. on Computer-Based Medical Systems CBMS'98*, Lubbock, Texas, June 1998, pp. 50-55 4. *J. Ortega, M. Koppel, S. Argamon-Engelson*, Arbitrating Among Competing Classifiers Using Learned Referees, In: *Machine Learning*, 1998 (to appear). 5. *C. J. Merz*, Combining Classifiers Using Correspondence Analysis, In: *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 10)*, 1998 (to appear). 6. *D.B.Skalak*, Combining Nearest Neighbor Classifiers, PhD Thesis, Dept. of Computer Science, University of Massachusetts, Amherst, MA, February 1997 (Available as Dept. of Computer Science Technical Report 96-89). 7. *Айвазян С.А.* Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М.:ФинС, 1989. 8. *U.Fayyad, G.Piatetsky-Shapiro, P.Smyth, R.Uthurusamy*, *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, AAAI/ MIT Press, 1997. 9. *Merz, C.J., & Murphy, P.M.*, UCI Repository of machine learning databases [<http://www.ics.uci.edu/~mllearn/MLRepository.html>]. Irvine, CA: University of California, Department of Information and Computer Science, 1998.

Поступила в редколлегию 15.09.98

АВТОРЫ ВЫПУСКА

1. *Байгозина Ольга Григорьевна*, асп., Харьковский государственный технический университет радиозлектроники (ХТУРЭ)
2. *Белецкий Евгений Владимирович*, асп., ассистент, ХТУРЭ
3. *Белоус Наталья Валентиновна*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ.
4. *Бескоровайный Владимир Валентинович*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
5. *Бондаренко Михаил Федорович*, д-р техн. наук, проф., академик АН ВШ, ректор, ХТУРЭ
6. *Валенда Наталья Анатольевна*, асп., ХТУРЭ
7. *Гвоздинская Наталья Анатольевна*, асп., ХТУРЭ
8. *Герасин Сергей Николаевич*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
9. *Голицу Ирина Владимировна*, инж.-программист, соискатель, ХТУРЭ
10. *Головашич Сергей Александрович*, стажер-исследователь, ХТУРЭ
11. *Гуревич Вадим Евгеньевич*, студент, ХТУРЭ
12. *Дударь Зоя Владимировна*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
13. *Дюбко Геннадий Федорович*, канд. техн. наук, проф., ХТУРЭ
14. *Дягилева Фаина Григорьевна*, канд. техн. наук, ст. преп., Харьковская фармацевтическая академия
15. *Ерохин Андрей Леонидович*, канд. техн. наук, доц., Харьковский университет внутренних дел
16. *Какурин Николай Яковлевич*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
17. *Калачев Игорь Дмитриевич*, асп., ХТУРЭ
18. *Калачева Вероника Валерьевна*, асп., ХТУРЭ
19. *Калиновский Андрей Станиславович*, асп., ХТУРЭ
20. *Качко Елена Григорьевна*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
21. *Козяев Леонид Леонидович*, асп., ХТУРЭ
22. *Колесников Дмитрий Олегович*, асп., ХТУРЭ
23. *Коряк Алексей Сергеевич*, асп., ХТУРЭ
24. *Косинов Роман Петрович*, асп., ХТУРЭ
25. *Лавриненко Сергей Богданович*, асп., ХТУРЭ
26. *Лесная Наталья Советовна*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
27. *Лисицкая Ирина Викторовна*, канд. техн. наук, ст. преп., ХТУРЭ
28. *Макаренко Анна Николаевна*, канд. техн. наук, ассистент, ХТУРЭ
29. *Маторин Сергей Игоревич*, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ХТУРЭ
30. *Мокрый Евгений Владимирович*, ассистент, ХТУРЭ
31. *Молочный Леонид Дмитриевич*, студент, ХТУРЭ
32. *Нестеренко Оксана Алексеевна*, асп., ХТУРЭ
33. *Овезельдыев Атагельды Оразгельдыевич*, канд. техн. наук, докторант, ХТУРЭ
34. *Олейников Роман Васильевич*, асп., ХТУРЭ
35. *Олешко Олег Иванович*, асп., ХТУРЭ
36. *Пархоменко Елена Владимировна*, студентка, ХТУРЭ

37. *Петров Эдуард Георгиевич*, д-р техн. наук, проф., ХТУРЭ
38. *Петров Константин Эдуардович*, канд. техн. наук, доц., Харьковский университет внутренних дел
39. *Пославский Сергей Александрович*, канд. физ.-мат. наук, доцент, Харьковский государственный университет
40. *Путятин Евгений Петрович*, д-р техн. наук, проф., ХТУРЭ
41. *Репка Виктория Борисовна*, асп., ХТУРЭ
42. *Рублинецкий Владимир Ильич*, ст. науч. сотр., ХТУРЭ
43. *Рябова Наталья Владимировна*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
44. *Свинарев Андрей Владимирович*, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ХТУРЭ
45. *Семенец Валерий Васильевич*, д-р техн. наук, проф., ХТУРЭ
46. *Сироджа Игорь Борисович*, д-р техн. наук, проф., Харьковский авиационный университет
47. *Ситников Дмитрий Эдуардович*, канд. техн. наук, докторант, Харьковская государственная академия культуры
48. *Соловьева Екатерина Александровна*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
49. *Тевяшев Андрей Дмитриевич*, д-р техн. наук, проф., ХТУРЭ
50. *Тищенко Владимир Владимирович*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
51. *Хайрова Нина Феликсовна*, асп., ст. преп., Харьковский гуманитарный институт «Народная украинская академия»
52. *Хаханов Владимир Иванович*, д-р техн. наук, проф., ХТУРЭ
53. *Цымбал Алексей Валерьевич*, асп., ХТУРЭ
54. *Четвериков Григорий Григорьевич*, канд. техн. наук; доц., ХТУРЭ
55. *Чикина Валентина Алексеевна*, канд. техн. наук, ведущий науч. сотр., ХТУРЭ
56. *Шабанов-Кушнарченко Сергей Юрьевич*, д-р техн. наук, ведущий науч. сотр., ХТУРЭ
57. *Шабанов-Кушнарченко Юрий Петрович*, засл. деят. науки и техники Украины, д-р техн. наук, проф., ХТУРЭ
58. *Шамша Татьяна Борисовна*, асп., ХТУРЭ
59. *Шаронова Наталья Валерьевна*, д-р техн. наук, проф., Харьковский гуманитарный институт «Народная украинская академия»
60. *Шубин Игорь Юрьевич*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
61. *Шумеев Андрей Леонидович*, асп., ХТУРЭ

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Е.П. Путьятин</i> Проблема распознавания изображений в системах технического зрения.....	3
<i>М.Ф. Бондаренко, В.И. Рублинецкий, В.А. Чикина</i> О прикладных задачах машинной лингвистики, решаемых подсчетом частот слов и выражений.....	12
<i>О.Г. Байгозина, Е.В. Белецкий, М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь</i> Структура системы контекстного обмена данными.....	18
<i>Н.А. Гвоздинская, З.В. Дударь, С.А. Пославский, Ю.П. Шабанов- Кушнарченко</i> О матрицах линейных логических операторов.....	25
<i>Д.О. Колесников, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко</i> О природе субъективных состояний.....	30
<i>И.Б. Сироджа</i> Квантовый подход к решению задач инженерии знаний.....	40
<i>Н.А. Валенда, Г.Ф. Дюбко</i> Принципы реализации анализа естественного языка.....	45
<i>Л.Л. Козяев, Р.П. Косинов, С.А. Пославский, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко</i> Вопросы моделирования адаптации цветового зрения.....	54
<i>Д.О. Колесников, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко</i> Интроспекция как эвристическое средство теории интеллекта.....	60
<i>А.О. Овезгельдыев, К.Э. Петров, Э.Г. Петров</i> Постановка задачи управления поведением социальной группы.....	66
<i>Н.С. Лесная, В.Б. Репка, Т.Б. Шамша</i> Об одном подходе к оценке качества исходной информации при обработке данных.....	71
<i>В.Е. Гуревич, Н.С. Лесная, Е.В. Мокрый, Е.В. Пархоменко</i> Новый подход к разработке программного комплекса поддержки дипломного проектирования.....	75
<i>Ф.Г. Дягилева, Е.Г. Качко, Л.Д. Молочный, А.В. Свиричев</i> Использование «ручных» методов вычислений в арифметике многократной точности.....	81
<i>Е.А. Соловьева</i> Концептуальное классификационное моделирование слабоформализованных проблемных областей с применением аппарата теории категорий.....	88
<i>Н.В. Белоус, В.В. Семенец, И.Ю. Шубин</i> Концепция интегрированной среды разработчика компьютерных обучающих систем.....	100
<i>И. В. Голиус, В.В. Тищенко</i> Технологические аспекты причинно-следственной методологии разработки программных моделей.....	108
<i>Г.Г. Четвериков</i> Синтез просторовых структур мовних систем (на прикладі української мови).....	112
<i>С.И. Маторин</i> Детерминантный анализ эволюции системы переработки информации человека.....	120
<i>И.Д. Калачев, В.В. Калачева, А.Д. Тевяшев</i> Интеллектуальные процедуры моделирования организационно-технологических систем.....	131
<i>С.Н. Герасин</i> Характеристические свойства одного семейства предикатов, возникающих в задачах идентификации линейных систем.....	138
<i>В.И. Хаханов</i> Технологии условного диагностирования логических устройств.....	148

<i>А.Л. Ерохин</i> Системы поддержки принятия решений при авариях в энергосетях.....	157
<i>В.В. Бескоровайный</i> Компараторная идентификация векторов предпочтений в моделях многокритериального выбора.....	162
<i>С.Б. Лавриненко, О.А. Нестеренко, А.Л. Шумеев</i> О целесообразности учета лево- и правополушарной парадигмы при реализации диалоговой компоненты системы поддержки принятия решений.....	169
<i>Д.Э. Ситников, Н.Ф. Хайрова, Н.В. Шаронова</i> Моделирование семанτικο- синтаксических отношений грамматических словосочетаний.....	179
<i>С.А. Головашич, А.С. Коряк, И. В. Лисицкая, Р.В. Олейников, О.И. Олешко</i> Построение таблиц подстановок для стандарта шифрования данных.....	185
<i>Н.Я. Кахурин, А.Н. Макаренко</i> Четырехшаговый преобразователь кодов на регистрах сдвига.....	195
<i>А.С. Калиновский, В.И. Рублинецкий, Н.В. Рябова</i> О машинном понимании естественно – языковых текстов. Подход на основе Т – Т метода.....	201
<i>А.В. Цымбал</i> Динамическая интеграция классификаторов в интеллектуальном анализе данных.....	207
Авторы выпуска.....	212

CONTENTS

<i>E.P. Putyatin</i> The Problem of Image Recognition in Machine-Vision.....	3
<i>M.F. Bondarenko, V.I. Rublinetsky, V.A. Chikina</i> On Applied Problems of Computer Linguistics Solved by Calculating Frequencies of Words and Word Combinations: A Survey.....	12
<i>O.G. Baygozina, E.V. Beletskii, M.F. Bondarenko, Z.V. Dudar</i> Structure of the Data Context Interchange System.....	18
<i>N.A. Gvozhdinskaya, Z.V. Dudar, S.A. Poslavsky, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko</i> On Matrices of Linear Logical Spaces.....	25
<i>D.O. Kolesnikov, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko</i> About the Nature of Subjective Conditions.....	30
<i>I.B. Siroja</i> A Quantum Approach to Solving Problems of Knowledge Engineering.....	40
<i>N.A. Valenda, G.F. Dubko</i> Principles of Realization of the Analysis of Natural Language.....	45
<i>L.L. Kozyayev, R.P. Kosynov, S.A. Poslavsky, S.Y. Shabanov-Kushnarenko</i> Questions of Modelling Colour Vision Adaptation.....	54
<i>D.O. Kolesnikov, S.Y. Shabanov-Kushnarenko</i> Introspection as a Heuristic Tool of the Theory of Intelligence.....	60
<i>A.O. Ovezgeldyev, K.E. Petrov, E.G. Petrov</i> Statement of a Task of Management of Behaviour of a Social Group.....	66
<i>N.S. Lesnaya, V.B. Repka, T.B. Shamsha</i> On One Approach in Estimation of Input Data Quality in Data Processing.....	71
<i>V.E. Gurevich, N.S. Lesnay, E.V. Mokry, E.V. Parhomenko</i> A New Approach for Developing a Software Package for Designing Diplomas.....	75
<i>F.G. Diagileva, L.G. Kachko, L.D. Molochniy, A.V. Svinarev</i> Use of «Hand-Operated» Methods of Calculation in Arithmetic of Multiple Precision.....	81
<i>E.A. Solovyova</i> Conceptual Classification Modelling of Weakly Formalized Problem Domains by Using the Apparatus of Category Theory.....	88
<i>N.V. Belous, V.V. Semenets, I.Y. Schubin</i> Techniques of the Construction of Training Interactive Systems.....	100
<i>I.V. Golius, V.V. Tischenko</i> Technological Aspects of the Causal-Consequential Methodology of Development of Program Modules.....	108
<i>G.G. Chetverikov</i> Synthesis of Spatial Structures of Linguistic Systems (for Ukrainian).....	112
<i>S.I. Matorin</i> Determinant Analysis of Man's Information Processing System.....	120
<i>I.D. Kalachov, V.V. Kalachova, A.D. Tevyashev</i> Intellectual Procedures for Modelling Organizational Technological Systems.....	131
<i>S.N. Gerasin</i> The Characteristic Properties of One Predicate Family, Appearing in Identification Tasks of Linear Systems.....	138
<i>V.I. Hahanov</i> Techniques for Conditional Diagnosing of Logic Devices.....	148
<i>A.L. Yerokhin</i> Decision Support Systems for Failures in Power Systems.....	157

<i>V.V. Beskorovainyi</i> Comparatory Identification of Preference Vectors in Models of Multicriterial Choice.	162
<i>S.B. Lavrinenko, O.A. Nesterenko, A.L. Shumeyev</i> On the Need of Accounting for Left And Right Hemisphere Paradigms in Realizing Main Components of Decision-Taking Systems.	169
<i>D.E. Sitnikov, N.F. Khayrova, N.V. Sharonova</i> Modelling the Semantic-Syntactic Relation of Grammatic Word Combinations.	179
<i>S.A. Golovashich, A.S. Koryak, I.V. Lisitskaya, R.V. Oleynikov, O.I. Oleshko</i> Building S-boxes for DES.	185
<i>N.Ya.Kakurin, G.N. Makarenko</i> Four-Step Code Convertor on Shift Registers.	195
<i>A.S. Kalinovskiy, V.I. Rublinetsky, N.V. Ryabova.</i> About Computer Understanding of NL Texts. Approach Based on T-T Methods.	201
<i>A.V. Tsybal</i> Dynamic Integration of Classifiers in Data Mining.	207
Our authors.	212