

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 0555-2656

БИОНИКА ИНТЕЛЛЕКТА

ИНФОРМАЦИЯ, ЯЗЫК, ИНТЕЛЛЕКТ

№ 1 (75)

2011

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1967 г.

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12072-943 ПР от 07.12.2006

Журнал включен в список специальных изданий ВАК Украины
по техническим наукам
(постановление президиума ВАК Украины № 1-05/6 от 16.12.2009)

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ. ТЕОРИЯ ИНТЕЛЛЕКТА

Бондаренко М.Ф., Каменева И.В., Русакова Н.Е., Шабанов-Кушнаренко Ю.П., Шубин И.Ю. О булевых реляционных сетях	3
Бондаренко М.Ф., Кругликова Н.П., Русакова Н.Е., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. О логической идентификации объектов	8

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Петров Э.Г., Губаренко Е.В. Методы компараторной идентификации как объективная альтернатива субъективизму эвристических методов принятия многокритериальных решений	13
Смеляков С.В. Степенные ряды Золотого сечения в моделях нейродинамики	21
Гофман Е.А., Олейник А.А., Субботин С.А. Мультиагентный метод построения деревьев	35
Гребенник И.В., Грицай Д.В. Математическая модель задачи определения оптимального формата издания	41

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Гороховатский В.А. Системы признаков на основе пространственноатрибутивных отношений структурных элементов изображений	48
Карпунин А.В., Гороховатский А.В. Классификация изображений фазового при анализе поведения динамических систем	52
Полякова М.В., Крылов В.Н., Волкова Н.П. Методология выбора подчеркивающего преобразования при сегментации изображений иерархических объектов и анализе сцен	56
Белоиваненко М.В. Семантическая аннотация математической функции в системах интеллектуальной обработки информации	66
Петренко Т.Г., Тимчук О.С. Определение когнитивного стиля пользователей компьютерных игр на основе интервальной нечеткой модели второго типа	70
Кучеренко Е.И., Корниловский А.В., Глушенкова И.С. Развитие методов на основе многозначной интервальной логики в задачах настройки функций принадлежности	75
Чалый С.Ф., Кривчикова А.А. Оценивание непротиворечивости правил бизнес-процесса на основе проверки наборов входных и выходных данных	79
Кораблев Н.М., Фомичев А.А. Обработка результатов тестирования обучающихся с использованием искусственных иммунных систем	84
Гришко А.А., Удовенко С.Г., Чалая Л.Э. Интеллектуальная система формирования биржевых стратегий с использованием комбинированных индикаторов	88
Воскобойникова А.А. Определение параметров модели интеграции распределенных информационных систем	94
Дубровин В.И., Твердохлеб Ю.В. Метод обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигналов на основе вейвлет-трешолдинга	98

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Бондар І.О. Виявлення проблем здійснення виробничої діяльності поліграфічного підприємства	102
Алексієв В.О. Візуальне моделювання інформаційних ресурсів транспортної інфраструктури	107
Ніконов О.Я., Шатохіна Н.В., Улько В.Ю. Розробка інформаційнокеруючої підсистеми двигуна і трансмісії транспортних засобів спеціального призначення на основі нейродинамічних моделей	114
Об авторах	120
Правила оформлення рукописів для авторів науковотехнічного журналу «Біоніка інтелекту»	123



О БУЛЕВЫХ РЕЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ

М. Ф. Бондаренко¹, И. В. Каменева², Н. Е. Русакова³,
Ю. П. Шабанов-Кушнаренко⁴, И. Ю. Шубин⁵

¹⁻⁵ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

В статье [1] были введены алгебра логики, ее обобщение — алгебра Буля и частный случай алгебры Буля — алгебра конечных предикатов. В настоящей работе описывается на языке алгебры конечных предикатов процесс минимизации формул алгебры булевых функций. Делается это с той целью, чтобы начать разработку теории реляционных сетей, решающих уравнения алгебры булевых функций. Такие сети называются *булевыми реляционными сетями*.

АЛГЕБРА БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ, МИНИМИЗАЦИЯ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ, СКОБОЧНЫЕ ФОРМЫ, МИНИМИЗАЦИЯ БУЛЕВЫХ РЕЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Введение

Рассмотрим множество $\Sigma = \{0, 1\}$, состоящее из элементов 0 и 1, называемых *логическими*. Введем *логические переменные* $\xi, \eta \in \Sigma$. На множестве Σ определяем *логические операции дизъюнкции* $\xi \vee \eta$, *конъюнкции* $\xi \wedge \eta = \xi \cdot \eta = \xi \eta$ и *отрицания* $\neg \xi = \bar{\xi}$ следующими равенствами: $0 \vee 0 = 0$, $0 \vee 1 = 1 \vee 0 = 1 \vee 1 = 1$; $0 \wedge 0 = 0 \wedge 1 = 1 \wedge 0 = 0$, $1 \wedge 1 = 1$; $\neg 0 = 1$, $\neg 1 = 0$. Система, состоящая из множества Σ и заданных на нем операций $\vee$, $\wedge$, $\neg$ называется *алгеброй логики*. Множество Σ играет роль *носителя* алгебры логики, а логические операции $\vee$, $\wedge$, $\neg$ — роль ее *базисных операций*. Для полноты *базиса* алгебры логики в нем необходимо ввести еще *базис элементов*. Если ввести базис элементов в виде множества $\{0, 1\}$, то получим полную алгебру. Этот базис алгебры логики избыточен. Примером несократимого базиса может служить базис, образованный из базиса элементов $\{0\}$ и базиса операций $\{\neg\}$.

Приведем примеры формул алгебры логики: в первом базисе — $\neg((0 \vee 1) \cdot 0)$, во втором — $\neg 0$. Эти формулы тождественны, поскольку выражают один и тот же логический элемент 1. Примером тождества алгебры логики может служить запись $\neg((0 \vee 1) \cdot 0) = \neg 0$. Примерами законов алгебры логики могут служить записи: $\xi \vee \xi = \xi$, $\xi \wedge \eta = \eta \wedge \xi$, $\xi \cdot \eta = \xi \eta$. Эти законы представляют собой *схемы тождеств* алгебры логики, они выражены не на языке алгебры логики, а на каком-то ином языке, который является метаязыком по отношению к языку алгебры логики. Что собой представляет этот метаязык? Это есть алгебра, в которой базисными элементами служат логические переменные ξ, η, ζ и булевы функции 0 и 1. Носителем этой алгебры является множество возможных трехместных булевых функций вида $f(\xi, \eta, \zeta)$, а в роли ее базисных операций выступают дизъюнкция, конъюнкция и отрицание булевых функций. Очевидно, что рассматриваемый метаязык — это алгебра трехместных булевых функций. Таким образом, алгебра логики естественным путем выводит нас на алгебру булевых функций. В общем случае алгебра булевых функций имеет носитель, образо-

ванный из всевозможных булевых функций типа $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$, где $x_1, x_2, \dots, x_m \in \{0, 1\}$. В роли базисных элементов в этой алгебре выступают булевы функции $x_1, x_2, \dots, x_m, 0, 1$, а в роли базисных операций — дизъюнкция, конъюнкция и отрицание булевых функций указанного типа.

1. Задача построения булевых реляционных сетей

В этой статье разрабатываются некоторые аспекты теории булевых реляционных сетей. Изложить эту теорию на языке алгебры булевых функций не представляется возможным, поскольку в такой сети потребуются полюсы не только с логическими переменными, но и с буквенными. Поэтому приходится обратиться к языку алгебры предикатов [2], переводя формулы алгебры булевых функций на язык алгебры конечных предикатов. Способ такого перевода весьма прост. Логическим переменным ставятся $x_1, x_2, \dots, x_m$ во взаимно однозначное соответствие *предметные* (т.е. *буквенные*) *переменные* $x_1, x_2, \dots, x_m$, принимающие *буквенные значения* 0 или 1. Области изменения этих переменных определяются *усеченными законами истинности*:

$$x_1^0 \vee x_1^1 = 1, x_2^0 \vee x_2^1 = 1, \dots, x_m^0 \vee x_m^1 = 1.$$

Каждая *формула алгебры булевых функций* переводится в соответствующую ей *форму алгебры предикатов* следующим образом: логическая переменная превращается в предикат узнавания буквы x_i^1 , ее отрицание $\bar{x}_i$ — в предикат x_i^0 или же в предикат $\bar{x}_i^1$, знаки $\vee$, $\wedge$ и $\neg$ алгебры булевых функций заменяются на такие же по начертанию обозначения булевых операций алгебры предикатов. Рассмотрим пример такого перевода. Берем формулу алгебры булевых функций $x_1 \vee x_2 \cdot x_1$. Ей соответствует формула алгебры предикатов $x_1^1 \vee x_2^1 \cdot x_1^0$ или же формула $\bar{x}_1^1 \vee x_2^1 \cdot \bar{x}_1^1$, которая тоже дает правильный перевод.

2. Минимизация формул алгебры булевых функций

Изложим теперь теорию минимизации алгебры булевых функций на языке алгебры конечных предикатов. Пусть $x_1, x_2, \dots, x_m$ — предметные пе-

ременные, области изменения которых ограничены множеством параметров 0 и 1. Образует множество M всех предикатов типа $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$, $x_1, x_2, \dots, x_m \in \{0, 1\}$. Займемся отысканием *минимальной дизъюнктивной нормальной формы* для предикатов из множества M . Здесь мы наметим последовательность действий, которые должны быть выполнены при нахождении минимальной ДНФ.

Элементарной конъюнкцией называется любая конъюнкция предикатов узнавания с различными буквенными переменными, взятыми с произвольно фиксированными буквенными показателями. Наибольшее число множителей в элементарной конъюнкции равно m , наименьшее — нулю. В роли элементарной конъюнкции, не имеющей в своем составе ни одного предиката узнавания буквы, принимается формула 1. Примерами элементарных конъюнкций в алгебре предикатов типа $f(x_1, x_2, x_3)$, $x_1, x_2, x_3 \in \{0, 1\}$ могут служить формулы $x_1^0 x_2^1$, $x_2^1 x_3^0$, $x_1^1 x_2^1 x_3^0$.

Любая дизъюнкция произвольного числа различных элементарных конъюнкций называется *дизъюнктивной нормальной формой (ДНФ)*. В роли ДНФ, не содержащей ни одного дизъюнктивного члена, принимается формула 0. Примером ДНФ в алгебре типа $x_1, x_2, x_3 \in \{0, 1\}$ может служить формула $x_1^0 x_2^1 \vee x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0$. Любая элементарная конъюнкция, в которой встречаются все предметные переменные алгебры предикатов заданного типа, называется *конституэнтной единицы*. Любая дизъюнкция произвольного числа различных конституэнт единиц называется *совершенной дизъюнктивной нормальной формой (СДНФ)* предиката. Ниже приводится описание алгоритма преобразования произвольной формулы к СДНФ, сопровождаемого примером. Требуется преобразовать к СДНФ типа $x_1, x_2, x_3 \in \{0, 1\}$ формулу

$$f = (x_1^0 \vee x_2^1)(x_1^0 \vee x_1^1 x_3^0) \vee (x_1^0 \vee x_2^0)(x_2^1 x_3^1 \vee x_2^0 x_3^0).$$

1. Раскрываем в формуле все скобки и производим упрощение:

$$f = x_1^0 \vee x_1^0 x_2^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_2^0 x_3^0.$$

В результате получаем некоторую ДНФ предиката.

2. Во все конъюнкции вводим недостающие переменные:

$$f = x_1^0 (x_2^0 \vee x_2^1)(x_3^0 \vee x_3^1) \vee x_1^1 x_2^1 (x_3^0 \vee x_3^1) \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee (x_1^0 \vee x_1^1) x_2^0 x_3^0.$$

3. Снова раскрываем скобки и производим упрощения:

$$f = x_1^0 x_2^0 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^0 x_3^1 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1.$$

В результате получаем СДНФ предиката.

Элементарную конъюнкцию g назовем *собственной частью* элементарной конъюнкции f , если g может быть получена из f исключением некоторых предикатов узнавания буквы. Например, элементарная конъюнкция $x_1^0 x_3^1$ есть собственная часть элементарной конъюнкции $x_1^0 x_2^1 x_3^1$. Предикат g называется *импликантой* предиката f , если на любом наборе значений аргументов, для которого $f = 1$, имеем также $g = 1$. Будем говорить, что импликанта g накрывает своими единицами единицы предиката f . *Простой импликантой* предиката f называется любая элементарная конъюнкция, обладающая следующими свойствами: она есть импликанта предиката f и никакая ее собственная часть не является импликантой предиката f .

Дизъюнкция любого числа импликант конечного предиката есть импликанта этого предиката. Система S импликант конечного предиката f называется *полной*, если любая единица из таблицы предиката f накрывается единицами хотя бы одной импликанты системы S . Тому или иному конечному предикату может соответствовать, вообще говоря, несколько различных полных систем импликант. Дизъюнкция всех импликант полной системы импликант любого конечного предиката выражает собой этот предикат. Система всех простых импликант любого конечного предиката является его полной системой. Дизъюнкция всех простых импликант каждого конечного предиката представляет собой этот предикат. Она называется *сокращенной дизъюнктивной нормальной формой* данного конечного предиката.

Во многих случаях (однако далеко не всегда) сокращенная дизъюнктивная нормальная форма представляет собой более экономное средство записи конечных предикатов, чем СДНФ. Однако сокращенная форма, как правило, не совпадает с минимальной дизъюнктивной нормальной формой, оказывается сложнее ее. *Дизъюнктивным ядром* конечного предиката называется множество всех таких его простых импликант, исключение каждого из которых из системы всех простых импликант делает эту систему неполной. Элементы дизъюнктивного ядра входят в состав любой полной системы простых импликант. Система простых импликант конечного предиката называется *приведенной*, если она полна и никакое ее собственное подмножество не является полной системой. Дизъюнкция всех простых импликант приведенной системы называется *тупиковой дизъюнктивной нормальной формой* предиката. Предикат может иметь более одной тупиковой дизъюнктивной нормальной формы.

Любая минимальная дизъюнктивная нормальная форма предиката является, вместе с тем, и тупиковой ДНФ. Существуют конечные предикаты, которые имеют более одной минимальной ДНФ,

языке алгебры предикатов. Составляем таблицу 1 отношения, выраженного уравнением (1). В таблицу вводим дополнительный столбец с номером строки x_6 таблицы.

Таблица 1

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	2
0	0	1	1	0	3
0	1	0	0	0	4
0	1	1	0	1	5
0	1	1	1	0	6
0	1	1	1	1	7
1	0	0	0	0	8
1	0	1	0	0	9
1	0	1	0	1	10
1	0	1	1	1	11
1	0	1	1	0	12
1	1	0	0	0	13
1	1	1	0	1	14
1	1	1	1	0	15

$$g(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$$

Получили новый предикат $g(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$, равный:

$$g = x_1^1 x_2^0 x_3^1 x_4^0 x_5^0 x_6^1 \vee x_1^0 x_2^0 x_3^1 x_4^0 x_5^1 x_6^2 \vee x_1^0 x_2^0 x_3^1 x_4^1 x_5^0 x_6^3 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^0 x_4^0 x_5^0 x_6^4 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 x_4^0 x_5^1 x_6^5 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 x_4^1 x_5^0 x_6^6 \vee x_1^0 x_2^1 x_3^1 x_4^1 x_5^1 x_6^7 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^0 x_4^0 x_5^0 x_6^8 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 x_4^0 x_5^0 x_6^9 \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 x_4^0 x_5^1 x_6^{10} \vee x_1^1 x_2^0 x_3^1 x_4^1 x_5^1 x_6^{11} \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 x_4^0 x_5^0 x_6^{12} \vee x_1^1 x_2^1 x_3^0 x_4^0 x_5^1 x_6^{13} \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 x_4^0 x_5^1 x_6^{14} \vee x_1^1 x_2^1 x_3^1 x_4^1 x_5^0 x_6^{15}.$$

Бинаризуя предикат g , получаем пять бинарных предикатов g_1, g_2, g_3, g_4, g_5 (табл. 2).

Таблица 2

x_1	x_6	x_2	x_6	x_3	x_6	x_4	x_6	x_5	x_6
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	2	0	2	1	2	0	2	1	2
0	3	0	3	1	3	1	3	0	3
0	4	1	4	0	4	0	4	0	4
0	5	1	5	1	5	0	5	1	5
0	6	1	6	1	6	1	6	0	6
0	7	1	7	1	7	1	7	1	7
1	8	0	8	0	8	0	8	0	8
1	9	0	9	1	9	0	9	0	9
1	10	0	10	1	10	0	10	1	10
1	11	0	11	1	11	1	11	1	11
1	12	0	12	1	12	1	12	0	12
1	13	1	13	0	13	0	13	0	13
1	14	1	14	1	14	0	14	1	14
1	15	1	15	1	15	1	15	0	15

$$g_1(x_1, x_6) \quad g_2(x_2, x_6) \quad g_3(x_3, x_6) \quad g_4(x_4, x_6) \quad g_5(x_5, x_6)$$

Выписываем формулы для предикатов $g_1 \div g_5$:

$$g_1(x_1, x_6) = x_1^0 (x_6^1 \vee x_6^2 \vee x_6^3 \vee x_6^4 \vee x_6^5 \vee x_6^6 \vee x_6^7) \vee x_1^1 (x_6^8 \vee x_6^9 \vee x_6^{10} \vee x_6^{11} \vee x_6^{12} \vee x_6^{13} \vee x_6^{14} \vee x_6^{15});$$

$$g_2(x_2, x_6) = x_2^0 (x_6^1 \vee x_6^2 \vee x_6^3 \vee x_6^8 \vee x_6^9 \vee x_6^{10} \vee x_6^{11} \vee x_6^{12}) \vee x_2^1 (x_6^4 \vee x_6^5 \vee x_6^6 \vee x_6^7 \vee x_6^{13} \vee x_6^{14} \vee x_6^{15});$$

$$g_3(x_3, x_6) = x_3^0 (x_6^1 \vee x_6^4 \vee x_6^8 \vee x_6^{13}) \vee x_3^1 (x_6^2 \vee x_6^3 \vee x_6^5 \vee x_6^6 \vee x_6^7 \vee x_6^9 \vee x_6^{13} \vee x_6^{10} \vee x_6^{11} \vee x_6^{12} \vee x_6^{13} \vee x_6^{14});$$

$$g_4(x_4, x_6) = x_4^0 (x_6^1 \vee x_6^2 \vee x_6^4 \vee x_6^5 \vee x_6^8 \vee x_6^9 \vee x_6^{10} \vee x_6^{13} \vee x_6^{14}) \vee x_4^1 (x_6^3 \vee x_6^6 \vee x_6^7 \vee x_6^{11} \vee x_6^{12} \vee x_6^{15});$$

$$g_5(x_5, x_6) = x_5^0 (x_6^1 \vee x_6^3 \vee x_6^4 \vee x_6^6 \vee x_6^8 \vee x_6^9 \vee x_6^{12} \vee x_6^{13} \vee x_6^{15}) \vee x_5^1 (x_6^2 \vee x_6^5 \vee x_6^7 \vee x_6^{10} \vee x_6^{11} \vee x_6^{14}).$$

Реляционная сеть изображена на рис. 2.

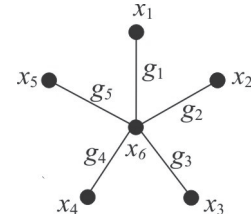


Рис. 2

Ее сложность оценивается 85-ю предикатами узнавания буквы. Столь же эффективно действующую сеть можно получить, если вместо номеров конституэнт единицы предиката f использовать номера простых импликант из его минимальной ДНФ. Каждая простая импликанта представляет собой декартово произведение некоторых множеств. Декартовы произведения имеют максимальную размерность, совпадающую с размерностью предметного пространства. В нашем примере эта размерность равна пяти. Выбираем первый вариант минимальной ДНФ предиката. Получаем следующую нумерацию простых импликант:

$$\text{№ 1} - x_1^0 x_2^1 x_3^1 x_4^1 (x_5^0 \vee x_5^1),$$

$$\text{№ 4} - (x_1^0 \vee x_1^1) (x_2^0 \vee x_2^1) x_3^1 x_4^1 x_5^0,$$

$$\text{№ 5} - (x_1^0 \vee x_1^1) (x_2^0 \vee x_2^1) x_3^1 x_4^1 x_5^1,$$

$$\text{№ 6} - x_1^0 x_2^1 x_3^1 (x_4^0 \vee x_4^1) (x_5^0 \vee x_5^1),$$

$$\text{№ 7} - (x_1^0 \vee x_1^1) (x_2^0 \vee x_2^1) x_3^0 x_4^0 x_5^0.$$

Здесь мы выписали простые импликанты не в сокращенном, а в полном виде, чтобы было видно, что все они пятимерны, и какие множества являются сомножителями каждого декартова произведения.

В роли аналога таблицы 1 теперь выступает таблица 3.

Таблица 3

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_7
0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	0	4
0	1	1	1	0	4
1	0	1	1	0	4
1	1	1	1	0	4
0	0	1	0	1	5
0	1	1	0	1	5
1	0	1	0	1	5
1	1	1	0	1	5
1	0	1	0	0	6
1	0	1	0	1	6
1	0	1	1	0	6
1	0	1	1	1	6
0	0	0	0	0	7
0	1	0	0	0	7
1	0	0	0	0	7
1	1	0	0	0	7

 $h(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_7)$

Бинаризуя предикат h , получаем бинарные предикаты $h_1 \div h_5$ (табл. 4).

Таблица 4

x_1	x_7	x_2	x_7	x_3	x_7	x_4	x_7	x_5	x_7
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1
0	4	0	4	1	4	1	4	1	1
1	4	1	4	1	5	0	5	0	4
0	5	0	5	1	6	0	6	1	5
1	5	1	5	0	7	1	6	0	6
1	6	0	6			0	7	1	6
0	7	0	7					0	7
1	7	1	7						

 $h_1(x_1, x_7) \quad h_2(x_2, x_7) \quad h_3(x_3, x_7) \quad h_4(x_4, x_7) \quad h_5(x_5, x_7)$

Выписываем формулы для предикатов $h_1 \div h_5$:

$$h_1(x_1, x_7) = x_1^0(x_7^1 \vee x_7^4 \vee x_7^5 \vee x_7^7) \vee x_1^1(x_7^4 \vee x_7^5 \vee x_7^6 \vee x_7^7);$$

$$h_2(x_2, x_7) = x_2^0(x_7^4 \vee x_7^5 \vee x_7^6 \vee x_7^7) \vee x_2^1(x_7^1 \vee x_7^4 \vee x_7^5 \vee x_7^7);$$

$$h_3(x_3, x_7) = x_3^0(x_7^7 \vee x_3^1(x_7^1 \vee x_7^4 \vee x_7^5 \vee x_7^6));$$

$$h_4(x_4, x_7) = x_4^0(x_7^5 \vee x_7^6 \vee x_7^7) \vee x_4^1(x_7^1 \vee x_7^4 \vee x_7^6);$$

$$h_5(x_5, x_7) = x_5^0(x_7^1 \vee x_7^4 \vee x_7^6 \vee x_7^7) \vee x_5^1(x_7^1 \vee x_7^5 \vee x_7^6);$$

Теперь сложность реляционной сети оценивается 44-мя предикатами узнавания буквы, что почти в два раза меньше.

Выводы

Таким образом, отправляясь от достижений теории минимизации формул алгебры булевых функций, мы получили метод минимизации булевых реляционных сетей, эффективно решающих уравнения алгебры булевых функций. Следующий шаг в развитии теории реляционных сетей заключается в том, чтобы, отправляясь от достижений теории минимизации формул алгебры предикатов, выйти на метод минимизации произвольных реляционных сетей, поскольку понятие простой импликанты здесь отказывается служить, и его приходится заменить более сложным понятием *скобочной формы* [1]. В случае же булевых реляционных сетей переход от понятия простой импликанты к понятию скобочной формы осуществляется обычным введением недостающих предметных переменных, например, простой импликанте $x_3^1 x_4^1 x_5^0$ соответствует скобочная форма $(x_1^0 \vee x_1^1)(x_2^0 \vee x_2^1)x_3^1 x_4^1 x_5^0$.

Список литературы: 1. Бондаренко, М. Ф. Об алгебре предикатов [Текст] / М. Ф. Бондаренко, Н. П. Кругликова, И. А. Лещинская, Н. Е. Русакова, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Бионика интеллекта науч.-техн. журнал. — Х.: Изд-во ХНУРЭ, 2010. — № 3 — С. 00 — 00. 2. Бондаренко, М. Ф. Теория интеллекта [Текст] / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. — Х.: Изд-во «СМИТ», 2007. — 576 с.

Поступила в редколлегию 06.01.2011.

УДК 519.7

Про булеві реляційні мережі / М. Ф. Бондаренко, І. В. Каменева, Н. Є. Русакова, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко, І. Ю. Шубін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 3–7.

У статті на мові алгебри предикатів описується процес мінімізації формул алгебри булевих функцій. Також вводиться поняття дужкової форми, яке замінює поняття простої імпліканти.

Табл. 4. Л. 2. Бібліогр.: 2 найм.

UDC 519.7

About boole relational networks / M. F. Bondarenko, I. V. Kamenieva, N. E. Rusakova, Yu. P. Shabanov-Kushnarenko, I. Yu. Shubin // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 3–7.

In the paper we describe the process of formula's minimization of functions of Boolean algebra using the Algebra predicates language. Also we work in the concept of "bracket form". It is substitute for the concept of simple implicant. Ref.: 2 items.

Tab. 4. Fig. 2. Ref.: 2 items.

УДК 519.7



О ЛОГИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ

М.Ф. Бондаренко¹, Н.П. Кругликова², Н.Е. Русакова³,
Ю.П. Шабанов-Кушнаренко⁴

¹⁻⁴ХНУРЭ, г. Харьков, Украина

В статье излагаются элементы учения о логической идентификации объектов. Обращается внимание на то важное обстоятельство, что потребности классической математики и учения о логической идентификации объектов диктуют различный взгляд этих областей знания на назначение аксиоматической теории. В первом случае из аксиом теории выводятся следствия, во втором — аксиомы рассматриваются как логические уравнения, которые требуются решить и получить общий вид модели теории.

ЛОГИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, ТЕОРИЯ ОБЪЕКТОВ, АКСИОМЫ, МОДЕЛЬ, ПОЛНОТА ТЕОРИИ, НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ АКСИОМ

Введение

Механизм интеллекта человека можно разделить на *нижние* (периферийные) и *высшие* (центральные) механизмы интеллекта. Нижние механизмы интеллекта формируют *внутренние* (психические) состояния человека в ответ на внешние (физические) воздействия и обратно преобразуют внутренние состояния во внешние. Они также преобразуют друг в друга внутренние состояния. Преобразования первого вида называются *психофизическими процессами*, второго — *психическими*. Высшие механизмы интеллекта человека называются его *сознанием*. Формальное описание периферийных механизмов интеллекта облегчается за счет подсказки сознания, которое способно воспринимать и анализировать психические состояния человека. Центральные механизмы интеллекта изучать сложнее, поскольку сознание само себя воспринимать не может. Для изучения механизмов сознания используется *логическая идентификация*, которая представляет собой наиболее общий случай косвенной идентификации.

1. Аксиомы теории

Пусть $P_1, P_2, \dots, P_n$ — идентифицируемые объекты, реализующие предикаты $P_1(x_1, x_2, \dots, x_m)$, $P_2(x_1, x_2, \dots, x_m)$, ..., $P_n(x_1, x_2, \dots, x_m)$. Из экспериментального изучения поведения объектов $P_1, P_2, \dots, P_n$ выводятся их *характеристические свойства* $F_1, F_2, \dots, F_n$, которые выражаются системой логических уравнений:

$$\begin{aligned} F_1(P_1, P_2, \dots, P_n) &= 1; \\ F_2(P_1, P_2, \dots, P_n) &= 1; \\ &\dots\dots\dots \\ F_r(P_1, P_2, \dots, P_n) &= 1. \end{aligned} \quad (1)$$

$F_1, F_2, \dots, F_n$ — это *предикаты второй степени* от *предикатов первой степени* $P_1, P_2, \dots, P_n$. Уравнения (1) связывают неизвестные предикаты $P_1, P_2, \dots, P_n$. Эти уравнения называются *логическими условиями*. Логические условия (1) называются также *аксиомами теории T* объектов $P_1, P_2, \dots, P_n$. Предикаты $P_1, P_2, \dots, P_n$ называются *исходными предикатами теории T*.

2. Аксиомы теории натурального ряда

Примером теории T может служить *теория натурального ряда чисел*. В ней используются два исходных предиката: $N(x)$ — *предикат натурального числа x* и $Q(x, y)$ — *предикат счета*. Содержательно натуральный ряд понимается как бесконечная последовательность 1, 2, 3, ... каких-либо различных предметов 1, 2, 3, ..., называемых натуральными числами. Предикат $N(x)$ задается на произвольно выбираемом универсуме U так, что $x \in U$. Если $N(x) = 1$, то x есть натуральное число. Если же $N(x) = 0$, то предмет x натуральным числом не является. Предикат $Q(x, y)$ задается на $N \times N$ так, что $x, y \in N$. Если $Q(x, y) = 1$, то число y непосредственно следует за x в натуральном ряду. Иначе говоря $x+1=y$. Если же $Q(x, y) = 0$, то $x+1 \neq y$. Требуется так сформулировать аксиомы теории натурального ряда, чтобы они могли полностью заменить содержательные пояснения понятия натурального ряда. Здесь приводятся аксиомы, сформулированные в конце 19-го столетия итальянским математиком Джузеппе Пеано.

1) *Аксиома всюду определенности*:

$$F_1(N, Q) = \forall x \in N \exists y \in Q(x, y).$$

Эта аксиома требует, чтобы натуральный ряд чисел нигде не обрывался. Допускается разветвление натурального ряда: после какого-то числа может непосредственно за ним следовать несколько чисел (рис. 1). Но не должно быть такого, чтобы нашлось в ряду такое число, за которым ничего уже не следует (рис. 2). Очевидно, что требованиям первой аксиомы удовлетворяют наши неформализованные представления о натуральном ряде чисел.

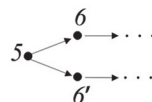


Рис. 1

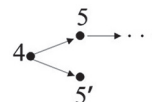


Рис. 2

2) *Аксиома однозначности*:

$$F_2(N, Q) = \forall x, y, z \in N (Q(x, y) \wedge Q(x, z) \supset D(y, z)).$$

Здесь $D(y, z)$ — предикат равенства на $U \times U$. В отличие от неизвестных предикатов N и Q предикат D фиксирован, он относится к языку формального описания и определяется следующим образом:

$$D(y, z) = \begin{cases} 1, & \text{если } y = z, \\ 0, & \text{если } y \neq z. \end{cases}$$

Аксиома 2) требует, чтобы после каждого числа в натуральном ряду непосредственно следовало не более одного числа. Обрыв же цепи допускается. Обе аксиомы легко объединить в одно высказывание:

$$F(N, Q) = \forall x \in N \forall! y \in N Q(x, y),$$

гласящее, что за каждым членом натурального ряда следует в точности одно число. Однако обычно предпочтение отдается аксиомам по возможности более расчлененным, а значит — менее информативным. Ясно, что аксиома 2) согласуется с нашими обыденными (интуитивными) представлениями о натуральном ряде чисел: если окажется, что за числом x непосредственно следуют числа y и z , то они обязательно должны совпасть.

3) *Аксиома инъективности*:

$$F_3(N, Q) = \forall x, y, z \in N (Q(x, y) \wedge Q(z, y) \supset D(x, z)).$$

Инъективность — это однозначность в обратную сторону: если какому-то числу в натуральном ряду непосредственно предшествуют числа x и z , то они обязательно должны совпасть. Требование инъективности не противоречит тому факту, что при движении вдоль ряда справа налево ряд обрывается на числе 1.

4) *Аксиома единицы*:

$$F_4(N, Q) = \exists! y \in N \forall x \in N \neg Q(x, y).$$

Аксиома гласит, что в ряду имеется единственное число, впереди которого уже нет никаких чисел. Если о каком-то предмете утверждается, что он существует в единственном числе, то тогда мы имеем право дать этому предмету индивидуальное имя. Первое число в натуральном ряду называем *единицей* и присваиваем ему символ 1.

4) *Аксиома математической индукции*:

$$F_5(N, Q) = \forall M \subseteq N (M(1) \wedge \forall x, y \in N (M(x) \wedge Q(x, y) \supset M(y)) \supset \forall x \in N M(x)).$$

Аксиома индукции — особая. Во-первых, она выделяется среди других большей сложностью, а, во-вторых, она записана на логическом языке более высокой ступени, чем остальные аксиомы. Об этом свидетельствует самый левый квантор $\forall M \subseteq N$, который берется не по предметным переменным x, y , а по предикатной переменной M , выражающей произвольное свойство предметов $x, y \in N$. Эта аксиома гласит: если каким-то свойством M обладает число 1 и, кроме того, из предположения, что свойством M обладает произвольно выбранное натуральное число x , логически вытекает, что тем же свойством обладает и непосредственно следующее за ним число y , то свойством M обладают все натуральные числа.

Любопытно отметить, что требование в аксиоме 4) единственности первого числа в натуральном

ряду не является обязательным: и без него теория натурального ряда оказывается полной. Но если его исключить, то мы не сможем ввести имя 1 для первого числа в ряду, а это приведет к серьезному дополнительному усложнению формулировки аксиомы математической индукции, которая и без того сложна. В результате приходится «переусложнять» без непосредственной на то необходимости формулировку аксиомы единицы.

3. Теория объектов

Совокупность истинных высказываний об объектах $P_1, P_2, \dots, P_n$ называется *теорией* этих объектов. Совокупность любых высказываний, из которых можно логически вывести только истинные высказывания теории T , называется *системой аксиом* теории T . Теория T и ее система аксиом называются *содержательно полными*, если из аксиом теории T можно логически вывести любое истинное высказывание этой теории. Примером содержательно полной теории может служить теория эквивалентности $P(x_1, x_2)$ на $A \times A$, где A — произвольно выбираемое непустое множество, которая основывается на *аксиомах рефлексивности*

$$\forall x \in A P(x, x),$$

симметричности

$$\forall x_1, x_2 \in A (P(x_1, x_2) \supset P(x_2, x_1))$$

и транзитивности

$$\forall x_1, x_2, x_3 \in A (P(x_1, x_2) \wedge P(x_2, x_3) \supset P(x_1, x_3)).$$

Содержательная полнота этой теории обусловлена тем, что эквивалентность определяется как любой предикат, обладающий свойствами рефлексивности, симметричности и транзитивности. Система же аксиом в точности повторяет определение эквивалентности. Выводя все следствия из этого определения, мы получаем все возможные высказывания об эквивалентности. Сформулируем еще одно высказывание, выражающее свойство квазитранзитивности предиката $P(x_1, x_2)$ на $A \times A$:

$$\forall x_1, x_2, x_3, x_4 \in A (P(x_1, x_2) \wedge P(x_3, x_2) \wedge P(x_3, x_4) \supset P(x_1, x_4)).$$

Образует систему аксиом из свойств рефлексивности и квазитранзитивности. Две системы аксиом называются *логически равносильными*, если каждую аксиому одной системы можно вывести из совокупности аксиом другой и наоборот. Система аксиом {рефлексивность, квазитранзитивность}, как оказывается, равносильна системе аксиом {рефлексивность, симметричность, транзитивность}. Поэтому теорию эквивалентности можно основывать не только на второй системе аксиом, но и на первой. Однако система, состоящая из одной аксиомы квазитранзитивности, не равносильна системе аксиом {симметричность, транзитивность}.

4. Модели теории

Набор $(P_1^*, P_2^*, \dots, P_n^*)$ конкретных предикатов $P_1 = P_1^*, P_2 = P_2^*, \dots, P_n = P_n^*$, удовлетворяющих аксиомам (1) теории T , называется *моделью* теории T .

Модель $(P_1^*, P_2^*, \dots, P_n^*)$ представляет собой одно из возможных решений системы логических уравнений (1). После подстановки вместо переменных $P_1, P_2, \dots, P_n$ их значений $P_1 = P_1^*, P_2 = P_2^*, \dots, P_n = P_n^*$ система уравнений (1) превращается в тождество вида $1=1, 1=1, \dots, 1=1$. Аксиом теории может удовлетворять или одна модель, или много моделей, или ни одной. Теория, для которой не существует ни одной модели, называется *противоречивой*. Теория натурального ряда непротиворечива. Одна из ее моделей, записанная на языке отношений, имеет вид:

$$N = \{(1), (2), (3), \dots\} = \{1, 2, 3, \dots\};$$

$$Q = \{(1, 2), (2, 3), \dots\}.$$

Эту же модель можно представить ориентированным графом (рис. 3)

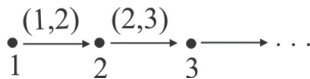


Рис. 3

или формулами алгебры предикатов

$$N(x) = x^1 \vee x^2 \vee x^3 \vee \dots, Q(x, y) = x^1 y^2 \vee x^2 y^3 \vee \dots$$

Меняя обозначения предметов 2 на 3 и 3 на 2, получаем другую модель натурального ряда (рис. 4).

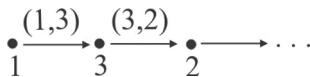


Рис. 4

Заменяя арабские обозначения на римские, получаем еще одну модель (рис. 5).

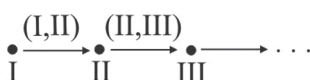


Рис. 5

Модели называются *изоморфными*, если они превращаются друг в друга взаимно однозначной заменой обозначений их предметов. Теория называется *категоричной*, если все ее модели изоморфны друг другу. Теория натурального ряда категорична. Теория называется *однозначной*, если ей удовлетворяет единственная модель. Категоричная теория превращается в однозначную после выбора обозначений для ее предметов. Пусть $\varphi(x) = x'$ — биекция, преобразующая элементы универсума U теории T в элементы универсума U' . $A_1, A_2, \dots, A_m \subseteq U$ — области определения предметных переменных $x_1, x_2, \dots, x_m$. Функция φ переводит переменные $x_1, x_2, \dots, x_m$ в переменные $x'_1, x'_2, \dots, x'_m$, их области определения $A_1, A_2, \dots, A_m$ — в области $A'_1, A'_2, \dots, A'_m$ и предикаты $P_i(x_1, x_2, \dots, x_m)$ на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_m$ ($i = 1, n$) в предикаты

$$P'_i(x'_1, x'_2, \dots, x'_m) = P'_i(\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_m))$$

на $A'_1 \times A'_2 \times \dots \times A'_m$. В результате описанного преобразования получаем новую теорию T' , совпадающую с исходной теорией T с точностью до обозначений ее предметов.

5. Независимость аксиом

Аксиомы называются *независимыми* друг от друга, если ни одну из них невозможно логически вывести из совокупности остальных аксиом теории. Система, образованная из независимых аксиом, называется *несократимой*. Независимость аксиом любой теории T доказывают *методом интерпретаций*, который заключается в том, что для каждой аксиомы $F_i(P_1, P_2, \dots, P_n) = 1$ из системы $\{F_1, F_2, \dots, F_i, \dots, F_r\}$ аксиом теории T изобретают такую конкретную модель $(P_{1i}^*, P_{2i}^*, \dots, P_{ni}^*)$, которая обращает аксиому F_i в противоречие вида $0=1$, а остальные аксиомы — в тождества вида $1=1$. Если бы аксиома F_i логически вытекала из совокупности остальных аксиом, то она выполнялась бы также и для изобретенной модели. Но аксиома F_i для этой модели не выполняется. Следовательно, аксиома F_i не выводится из совокупности остальных аксиом, а это означает, что она независима.

Для примера докажем, что все пять аксиом теории натурального ряда независимы друг от друга. Для доказательства независимости аксиомы 1) используем модель, изображенную на рис. 6. Первая аксиома для этой модели не выполняется, поскольку ряд «чисел» обрывается на предмете 2.

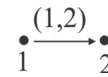


Рис. 6

Вторая и третья аксиомы выполняются, поскольку цепь не разветвляется при движении вдоль ни слева направо, ни в обратную сторону. Четвертая аксиома выполняется, т. к. в цепи есть первый предмет 1. Аксиома 5) выполняется потому, что, начиная ее обход вдоль стрелок с предмета 1, мы можем добраться до каждого ее предмета. Для доказательства независимости аксиомы 2) используем модель, представленную на рис. 7. Очевидно, что все аксиомы,

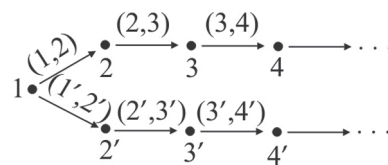


Рис. 7

кроме второй, для этой модели выполняются. Аналогично доказывается независимость аксиомы 3) с помощью модели, изображенной на рис. 8.

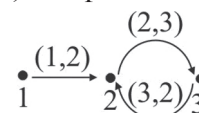


Рис. 8

На рис. 9 представлена модель, с помощью которой убеждаемся в независимости аксиомы 4).



Рис. 9

Определенная трудность возникает лишь с проверкой аксиомы 5), поскольку нет первого элемента и поэтому мы не можем начать обход цепи. Хотя говорят, что «на нет и суда нет», но все же такое «доказательство» выполнимости этой аксиомы представляется недостаточным. Поэтому ниже мы проведем это доказательство строго методом верификации. Аксиому 5) проверяем на независимость при помощи модели, изображенной на рис. 10. Аксиома 5) для этой модели не выполняется, поскольку, начиная обход графа с вершины 1, мы не можем добраться до его вершины 2'.

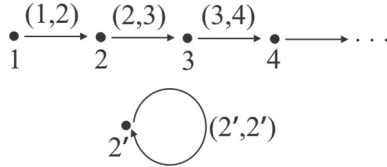


Рис. 10

Остальные же аксиомы, как легко убедиться, для этой модели выполняются.

Установление истинности или ложности любого высказывания относительно заданной модели называется его верификацией. Проведем верификацию аксиомы 5) относительно модели $N = \{2\}$, $Q = \{2, 2\}$ непосредственным вычислением значения ее кванторного выражения

$$F_5(N, Q) = \forall M \subseteq N (M(1) \wedge \forall x, y \in N (M(x) \wedge \wedge Q(x, y) \supset M(y)) \supset \forall x \in N M(x)).$$

Подставляем в F_5 компоненты заданной модели:

$$F_5(\{2\}, \{2, 2\}) = \forall M \subseteq \{2\} (M(1) \wedge \forall x, y \in \{2\} (M(x) \wedge \wedge x^2 y^2 \supset M(y)) \supset \forall x \in \{2\} M(x)) = \forall M \subseteq \{2\} (M(1) \wedge \wedge M(2) : 2^2 2^2 \supset M(2)) \supset M(2)) = \forall M \subseteq \{2\} (M(1) \wedge \wedge M(2) \supset M(2)) \supset M(2)) = \forall M \subseteq \{2\} (M(1) \supset M(2)).$$

Чтобы продолжить вычисления, нам придется заменить в выражении $M \subseteq \{2\}$ знак $\subseteq$ на $\in$. Имеем:

$$M \subseteq \{2\} \Leftrightarrow M \in \{\emptyset, \{2\}\}.$$

Полагаем $M_1 = \emptyset$, $M_2 = \{2\}$. Таким образом, $M \in \{M_1, M_2\}$. Продолжаем вычисления:

$$\forall M \subseteq \{2\} (M(1) \supset M(2)) = \forall M \in \{M_1, M_2\} (M_1(1) \supset M_2(2)) = (M_1(1) \supset M_1(2))(M_2(1) \supset M_2(2)).$$

Имеем: $M_1(x) = 0$, $M_2(x) = x^2$. Продолжаем вычисления:

$$(M_1(1) \supset M_1(2))(M_2(1) \supset M_2(2)) = (0 \supset 0)(1^2 \supset 2^2) = 1 \cdot (0 \supset 1) = 1.$$

Итак, чисто формальным вычислением мы убедились, что аксиома 5) выполняется относительно модели, изображенной на рис. 9.

6. Общий вид модели

Представление семейства всех моделей теории T некоторой формулой называется *общим видом* модели теории T . Можно доказать, что общий вид модели теории эквивалентности выражается следующим образом:

$$P(x_1, x_2) = D(f(x_1), f(x_2)). \quad (2)$$

Здесь $D(y_1, y_2)$ — предикат равенства на $B \times B$, а функция $f(x) = y$ действует из A на B . Перебирая все возможные множества B и функции f , получаем все семейство моделей теории эквивалентности $P(x_1, x_2)$, заданной на $A \times A$.

Модель теории цвета [1] является частным случаем модели эквивалентности:

$$f(x) = (\alpha_1(x), \alpha_2(x), \alpha_3(x));$$

где

$$\begin{aligned} \alpha_1(x) &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} x(\lambda) K_1(\lambda) d\lambda; \\ \alpha_2(x) &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} x(\lambda) K_2(\lambda) d\lambda; \\ \alpha_3(x) &= \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} x(\lambda) K_3(\lambda) d\lambda; \end{aligned} \quad (3)$$

В ней функция f уже не произвольна, а специализирована. Ее вид определяется набором линейно независимых функций $K_1(\lambda)$, $K_2(\lambda)$, $K_3(\lambda)$.

Для модели теории цвета трех аксиом теории эквивалентности уже недостаточно, приходится ввести дополнительно следующие три аксиомы:

аддитивности:

$$\begin{aligned} \forall x_1, x_2, x'_1, x'_2 \in A (P(x_1, x_2) \wedge P(x'_1, x'_2) \supset \\ \supset P(x_1 + x'_1, x_2 + x'_2)); \end{aligned}$$

трехмерности:

$$\begin{aligned} \forall a_1, a_2, a_3 \in A \forall x \in A \exists! \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \in R \\ (P(x), \alpha_1 a_1 + \alpha_2 a_2 + \alpha_3 a_3)); \end{aligned}$$

непрерывности:

при непрерывном изменении спектра $x(\lambda)$ светового излучения x координаты $\alpha_1(x)$, $\alpha_2(x)$, $\alpha_3(x)$ его цвета изменяются также непрерывно. Теперь множество A представляет собой гильбертово пространство функций суммируемых с квадратом. Знаком $+$ обозначена операция сложения световых излучений. Световые излучения a_1 , a_2 , a_3 называются *основными*. Символом R обозначено множество всех действительных чисел. В законе трехмерности используется операция αa умножения числа α на световое излучение a .

Для конкретного испытываемого вид функций $K_1(\lambda)$, $K_2(\lambda)$, $K_3(\lambda)$ можно отыскать экспериментально, пользуясь *методом Максвелла*. Берем монохроматическое излучение x_λ единичной мощности с длиной волны λ (рис. 11) и в эксперименте на испытываемом отыскиваем для каждого излучения x_λ равноцветную ему смесь $\alpha_1(\lambda)a_1 + \alpha_2(\lambda)a_2 + \alpha_3(\lambda)a_3$ основных излучений a_1 , a_2 , a_3 .

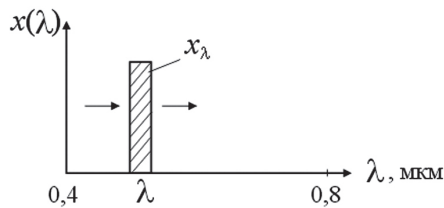


Рис. 11

В теории цвета доказывается, что можно принять $K_1(\lambda) = \alpha_1(x_\lambda)$, $K_2(\lambda) = \alpha_2(x_\lambda)$, $K_3(\lambda) = \alpha_3(x_\lambda)$. Найденные в эксперименте функции спектральной чувствительности зрения $K_1(\lambda)$, $K_2(\lambda)$, $K_3(\lambda)$ для всех лиц с нормальным зрением мало отличаются друг от друга. Их усредняют и в результате получают унифицированные функции спектральной чувствительности зрения, которые называются *функциями сложения*.

Непротиворечивая теория называется *формально полной*, если присоединение к системе ее аксиом любой независимой от них аксиомы делает ее противоречивой. Теория эквивалентности формально неполна, поскольку добавление трех новых аксиом теории цвета не привело к противоречию. О том, что среди новых аксиом имеются независимые, свидетельствует тот факт, что множество моделей теории цвета строго включено в множество моделей теории эквивалентности. Теория же натурального ряда формально полна.

Структурной идентификацией объектов называется такое их экспериментальное и теоретическое изучение, которое завершается формулированием аксиом и отысканием общего вида модели этих объектов. *Параметрической идентификацией* объектов называется такое их экспериментальное и теоретическое изучение, которое завершается отысканием конкретных значений параметров общего вида модели этих объектов.

Выводы

Потребности классической математики и учения о логической идентификации объектов диктуют различный взгляд этих областей знания на назначение аксиоматической теории. В первом случае из аксиом теории выводятся следствия, во втором — аксиомы рассматриваются как логические уравнения, которые необходимо решить и получить в результате общий вид модели теории. Как видим, задачи совершенно различны. Естественно ожидать, что и подходы к их решению и сами методы решения тоже будут различны. В теории логической идентификации вопрос о выводе следствий из аксиом, похоже, вообще не стоит, во всяком случае, он отходит на второй план. Продукцией являются модели, обращающие все аксиомы теории в тождества, а не поиск истинных высказываний теории. Если теория неразрешима, то это еще не означает, что модель теории не существует. Модель может быть выражена на языке несчетной ма-

тематики, на этом же языке можно удостоверить-ся в истинности для нее всех аксиом теории. При выводе же следствий из аксиом мы ограничены требованиями счетной теории алгоритмов. Когда же система аксиом непротиворечива? Ответ прост, ясен и непреложен: когда существует хотя бы одна модель, обращающая все аксиомы в тождества. А что такое модель? Иными словами, как отличить модель от не модели? Очевидно, что ответ кроется в том формальном языке, который используется для записи аксиом и моделей. Язык должен определяться такими правилами образования его формул, которые автоматически обеспечивают доброкачественность записи аксиом и моделей.

За многие века существования математики произошел жесткий отбор средств выражения, обеспечивающих отсутствие противоречий. В результате мы имеем язык отношений [2] и кванторов различных ступеней. В качестве рабочей гипотезы можно предположить: все, что можно записать на этом языке — доброкачественно. Не исключено, что в будущем, как это бывало иногда в прошлом, обнаружатся не замеченные ранее изъяны этого языка. Тогда следует язык подправить и использовать скорректированный язык. Если такой подход принять, то проблема доказательства непротиворечивости теории исчезает. Не надо ограничивать себя финитной математикой или какой-то иной. Все математические средства хороши, лишь бы они не приводили к несуразностям.

Список литературы: 1. Бондаренко, М. Ф. Теория цветового зрения [Текст] / М. Ф. Бондаренко, С. Ю. Шабанов-Кушнарченко — Х.: Изд-во «Фактор-Друк», 2002. — 206 с. 2. Бондаренко, М. Ф. Теория интеллекта [Текст] / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. — Х.: Изд-во «СМИТ», 2007. — 576 с.

Поступила в редколлегию 13.01.2011.

УДК 519.7

Про логічну ідентифікацію об'єктів / М. Ф. Бондаренко, Н. П. Кругликова, Н. Е. Русакова, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 8–12.

У статті розглядається вчення про логічну ідентифікацію об'єктів, також звертається увага на різноманітність поглядів на призначення аксіоматичної теорії класичної математики та вчення про логічну ідентифікацію об'єктів.

Лл. 11. Бібліогр.: 2 найм.

UDC 519.7

About logical authentication of objects / M. F. Bondarenko, N. P. Kruglikova, N. E. Rusakova, Yu. P. Shabanov-Kushnarenko, // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 8–12.

The elements of studies about logical authentication of objects are examined in the article. Attention on the different look of classic mathematics and studies about logical authentication of objects applies on setting of axiomatic theory.

Fig. 11. Ref.: 2 items.



**МЕТОДЫ КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
КАК ОБЪЕКТИВНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА СУБЪЕКТИВИЗМУ
ЭВРИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ**

Э.Г. Петров¹, Е.В. Губаренко²

¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, ST@kture.kharkov.ua;

² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, vergeley@mail.ru

В статье описан процесс принятия решения как интеллектуальный процесс выбора из множества допустимых альтернатив. Проанализированы процессы человеческого мышления и выделены ключевые функции: идентификация, анализ, вспоминание, запоминание, сравнение, выбор и др. Дано обоснование воспроизводимости и устойчивости процедуры парного сравнения при формировании исходных данных для методов принятия решений. Приводится сопоставление эвристических и компараторных методов для выявления влияния человеческого фактора на результат принятия решений. Проанализированы достоинства и недостатки активного и пассивного эксперимента. Дана краткая характеристика компараторного метода идентификации модели скалярного многофакторного оценивания.

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ, ЭТАПЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ВОСПРИЯТИЕ, ЭЛЕМЕНТЫ
МЫСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, КОМПАРАТОРНАЯ ИДЕН-
ТИФИКАЦИЯ**

Введение

Процедура принятия решения (ПР) является обязательным этапом любой целенаправленной деятельности человека. Реализация этой процедуры является основной функцией сознания и определяет все аспекты поведения индивида, являясь проявлением его свободы воли. Принимаемые индивидом решения отражают уровень интеллектуального, морального и этического развития его сознания.

Вместе с этим каждый индивид является частью некоторой социальной группы и социума в целом. С этой точки зрения, ошибочные или неэффективные решения, принимаемые индивидом, наносят вред не только группе, частью которой он является, но и всей социально-экономической системе (СЭС). Это обстоятельство послужило причиной возникновения и бурного развития системного анализа и теории принятия решений как научной основы перехода к обоснованным методам и процедурам принятия эффективных решений, что открывает перспективы автоматизации процессов ПР на основе создания систем поддержки принятия решений (СППР).

Реализация указанной глобальной цели потребовала, прежде всего, формализации понятия эффективное решение, т.е. определения необходимых условий, которым оно должно удовлетворять. По определению В.М. Глушкова [1] эффективное решение должно быть своевременным, комплексным и оптимальным.

Требование своевременности отражает тот факт, что реализация любого решения является поведенческим актом, реализуемым во времени, в условиях динамично изменяющейся внешней среды (метасистемы). Эти процессы должны быть синхронизированы, в противном случае это может

привести к потере актуальности или снижению эффективности решений.

Важность полноты (комплексности) решений подчеркивает необходимость использования системного подхода, который включает учет не только собственных локальных целей, но и согласование их с целями всех элементов метасистемы.

Требования своевременности и полноты определяют область допустимых решений, формируя классическую задачу условной оптимизации, которую необходимо решить для выполнения условия оптимальности.

Следующий шаг заключается в структуризации процесса ПР с целью выделения основной инвариантной проблемной области анализа этапов.

В настоящее время в процессе ПР выделяют следующие четыре этапа:

- формирование цели;
- определение множества возможных путей достижения цели, учет ограничений и выделение множества допустимых решений;
- формулирование критериев оценки эффективности;
- постановка и реализация задачи условной оптимизации, ориентированной на определение из ограниченной области допустимых решений экстремального варианта по критерию эффективности.

Анализ содержания перечисленных этапов указывает на то, что для реализации каждого из них необходима интеллектуальная деятельность, а носителем необходимой информации и способностей является индивид. При этом индивидуальные цели отражают стремление к удовлетворению личных потребностей, путь достижения которых ограничен уровнем располагаемых ресурсов, в том числе морально-этических, а критерии оптимизации

ции формируют требования к свойствам устанавливаемых целей.

Таким образом, конкретизация цели, ее свойств, области допустимых решений, критериев оценки эффективности, постановки задачи оптимального выбора являются результатом индивидуального интроспективного анализа. Вместе с этим личные цели, представления о путях и способах их достижения должны быть согласованы или, по крайней мере, не противоречить целям социальной группы СЭС определенного уровня, элементом которого они являются. Это означает, что необходимо определять не только индивидуальные, но и групповые предпочтения. Методология такого группового интроспективного анализа известна как экспертное оценивание.

Ключевой идеей экспертного оценивания является гипотеза о том, что усреднение индивидуальных субъективных мнений группы экспертов (специалистов) позволяет определить оценку, приближающуюся к объективной.

Вместе с этим из гипотезы следуют существенные недостатки метода экспертного оценивания, которые заключаются в зависимости результатов оценивания от количественного и качественного состава экспертной группы, способа ее формирования, профессиональной однородности, постоянства состава, способа и формы получения информации, а также последующей ее обработки. В этом направлении ведутся интенсивные исследования [2], актуальность которых обусловлена отсутствием альтернативных способов получения интеллектуальных знаний от их носителей. Данные исследования можно структурировать по направлениям:

- психологические исследования, направленные на обоснование наиболее устойчивых процедур извлечения и представления интеллектуальной информации;
- структуризация и минимизация исходной информации для решения специализированных задач;
- развитие методов более глубокого анализа результатов экспертизы с целью извлечения неявной (латентной) информации.

Целью авторов данной статьи является сравнительный анализ устойчивости различных методов извлечения интеллектуальной информации от их носителей, наиболее информативных форм ее представления и методов выявления латентной информации, основанных на идеях компараторной идентификации.

1. Принятие оптимальных решений в пассивных и активных системах

Принятие решений при управлении пассивными элементами сложных систем (техническими, экономическими, экологическими) связано с не-

обходимостью получения информации о состоянии рассматриваемых элементов, динамики их изменения и состояния окружающей среды. Для этого процесса наблюдения характерны две особенности: воспроизводимость (эксперимент может быть поставлен сколь угодно раз и установлена верность либо ошибочность гипотезы, если и не на рассматриваемом объекте, то на подобном ему: аналогия, макет, имитационная либо аналитическая модели); управляемость среды функционирования (все влияющие на процесс факторы могут быть учтены, компенсированы либо сведены к минимуму); постоянство цели (для пассивных систем цели имеют экзогенный характер, устанавливаются при проектировании системы и остаются постоянными на протяжении всего жизненного цикла). Отклонение от траектории достижения цели воспринимается как ошибка управления.

В случае активных открытых организационных систем, описанные выше условия не выполняются. Огромное количество скрытых и не явных факторов, влияющих на организационные системы, практически сводят на нет усилия по их учету, регистрации, обнаружению, выделению и моделированию. Время, которое необходимо, чтобы учесть, обработать и формально описать всю требуемую информацию, для того чтобы составить адекватную модель и принять решение, несоизмеримо с выделенными временными интервалами. Такие системы известны как плохо структурированные.

Для решения данной задачи используют экспертов, которые предположительно обладают достаточно полной информацией о рассматриваемой системе и способны предложить ряд правил (эвристик), которые характеризуют альтернативные решения. Класс подобных методов получил название эвристических, известных как методы экспертного оценивания. Решения, получаемые в результате использования таких методик, неустойчивы, обладают плохой повторяемостью, результаты не могут быть тиражированы и применены для построения СППР, ресурсы, затрачиваемые на нахождения решений, слишком велики. И все же во многих случаях данные методы остаются единственным способом генерации возможных решений, формирования креативных и инновационных подходов, а, следовательно, обладающих потенциальной перспективой. Но что касается выбора оптимального решения из возможных альтернатив, эвристические методы представляют собой скорее случайность, нежели закономерность. Для обеспечения оптимальности предлагается применять частично формализованные методы (метод анализа иерархий, теория полезности, ELECTRE). Отличительной особенностью данных методов является строгая регламентация последовательности действий, хотя в качестве исходных данных такие

методы используют экспертные оценки. Отдельно необходимо выделить компараторные методы. Как и частично формализованные, они обладают строгой регламентацией последовательности действий, обеспечивая устойчивый результат, возможность тиражирования и применения машинных средств для автоматизирования вычислений, и в то же время исходной информацией являются пары альтернатив с установленными предпочтениями (превосходство, эквивалентность) [3, 4]. Эта форма представления информации, как показано ниже, является самой устойчивой и вместе с тем информативной.

2. Особенности мыслительной деятельности при экспертном оценивании

Процесс генерации оценок экспертом (исходная информация для частично-формализованных методов) является **самонаблюдением**. Но самонаблюдению недоступно постижение естественного протекания психических переживаний [5]. Дело в том, что факт наблюдения сам по себе уже представляет новое психическое обстоятельство, которое налагается на содержание сознания и, следовательно, придает ему новый вид. Например, покупатель в магазине выбирает товар, он сделал свой выбор и уверен в покупке, но стоит задать вопрос «на основании чего он сделал этот выбор?», уверенность, как психическое переживание, теряет свою устойчивость, и может измениться на противоположное. Следовательно, естественное протекание переживания всегда остается недоступным самонаблюдению. Тот факт, что самонаблюдение уже самым своим существованием нарушает естественность переживаний, не подлежит сомнению [5]. При формировании оценок точечных или интервальных, дискретных или непрерывных эксперт вынужден находить оправдание своему выбору, психическое переживание первично, в то время как объяснение или обоснование выбора, работает в пространстве накопленного опыта, словарного запаса, логики, общественных предпочтений и прочего. Переживание какого-либо внутреннего процесса и наблюдение за его течением преследуют две совершенно различные цели, настолько отличные, что в некоторых случаях одна совершенно блокирует другую. В результате анализа экспертом альтернативы возникают эмоционально-субъективные переживания, и чем глубже анализ, тем сильнее психическое переживание. Процесс оценивания — это не что иное, как присвоение психическим переживаниям баллов (оценок). Чтобы произвести оценивание, необходимо абстрагироваться от психических переживаний, сравнив их между собой. Совершенно невозможно, чтобы с одинаковой интенсивностью эксперт наблюдал за собственными психическими процессами, со-

путствующими анализу альтернативы решения, и в то же время переживал их. Обычно наблюдение за переживанием какого-нибудь душевного акта вызывает его прерывание, замедление и задержку [5]. Основная трудность самонаблюдения выражается в нарушении естественного течения психических феноменов. Вместе с тем, акт самонаблюдения не исключает полностью возможности осознания психических феноменов, поскольку оно обычно происходит не в момент самого переживания, а после того, как переживание прошло этап своего актуального состояния и продолжает существовать лишь в виде воспоминания. Другими словами, эксперт формирует оценки, опираясь на воспоминания собственных переживаний, а не на них самих.

Процесс запоминания и воспроизведения ранее полученного опыта, как было указано выше, имеет принципиальную важность для формирования экспертных оценок. В цели статьи не входит детальное описание физиологических процессов работы головного мозга при запоминании и воспроизведении информации. Тем более, что до сих пор ряд теорий и гипотез находятся на стадиях обсуждения и дискуссий [6]. Стоит затронуть лишь ряд психологических аспектов. Человеческое воспоминание (нас интересует воспоминание прошлого опыта как основного носителя экспертных оценок) носит ассоциативный характер. Человек не в состоянии вспомнить что-либо, что не обусловлено каким-то раздражителем: образом, звуком, запахом, ощущением, вкусом, словом, эмоцией [7]. Другими словами, периодичность и постоянное повторение делают накопление опыта возможным. Если бы среда, в которой существует сознание, не состояла из частей, остающихся приблизительно постоянными, или не поддавалась бы разложению на периодически повторяющиеся события, опыт и ассоциации были бы лишены всякого смысла и значения. Зачастую человек (эксперт) в состоянии вспомнить лишь эмоцию, которую он ощутил при получении информации, и уже по ней восстановить происходящие события. Но человеческая психика претерпевает постоянные хаотические изменения, обусловленные физиологическими, психологическими и социальными процессами. Другими словами, чем больше времени прошло с момента запоминания, тем сильнее будут отличаться воспоминания от реальной информации. Другим недостатком воспоминания является детализация и объем информации об альтернативе сравнения, которые необходимо эксперту помнить и воспроизводить, для формирования объективных оценок. В совокупности перечисленные факторы определяют компетентность эксперта.

Для компараторных методов проблемы воспоминания стоят менее остро, потому как ключевым процессом сравнения двух альтернатив является

восприятие. Восприятием называется отражение предметов или явлений при их непосредственном воздействии на органы чувств [8]. Именно оно наиболее тесно связано с преобразованием информации, поступающей непосредственно из внешней среды. При этом формируются образы, с которыми в дальнейшем оперируют внимание, память, мышление, эмоции. В зависимости от анализаторов различают следующие виды восприятия: зрение, осязание, слух, кинестезию, обоняние, вкус. Благодаря связям, образующимся между разными анализаторами, в образе отражаются такие свойства предметов или явлений, для которых нет специальных анализаторов, например величина предмета, вес, форма, регулярность, что свидетельствует о сложной организации этого психического процесса. Интерес к процессу сравнения как получению первичной информации обусловлен физиологической и психологической предрасположенностью человека (эксперта) к осуществлению данного процесса. Человеку легче определить шум в момент, когда он начинается либо оканчивается, нежели выделить и оценить во время его звучания. Сравнивая альтернативы эксперту нет нужды формировать универсальное множество критериев оценивания. Критерии устанавливаются отличиями альтернатив, другими словами, решения сравниваются между собой только по тем характеристикам, в которых эксперт выделил отличия. Тем самым сокращаются объемы информации, которые необходимо вспоминать и обрабатывать эксперту. Детализация сравнения не ограничивается порогами чувствительности органов восприятия и может уточняться настолько, насколько позволяют технические средства либо требуемая точность. Возможность применения технических средств для измерения и расчетов вносит объективность в процесс сравнения. Процесс сравнения по праву считается одной из самых устойчивых и распространенных операций в процессе мышления и жизнедеятельности человека. Человеческий глаз различает более 10 миллионов цветов, но если попросить человека назвать их, эта цифра не превысит сотни. При парном сравнении есть возможность выделить отличия на заданном уровне детализации и с установленной точностью, в то же время при оценивании практически невозможно учесть все возможные варианты критериев и характеристик. Основным недостатком парного сравнения является эффект поглощения более незначительных отличий более крупными.

При формировании количественных оценок эксперты сталкиваются с проблемами преобразования собственных психологических переживаний в численную форму. Каждый эксперт обладает собственным порогом чувствительности и собственным представлением важности характеристик альтерна-

тивных решений. В таком случае эксперту проще указать интервал, нежели конкретное значение, но, даже указав интервал, эксперт лишь утверждает, что верное значение находится внутри интервала с некой долей вероятности. Альтернативой количественному описанию является качественное представление информации (чаще всего в вербальной форме). Приближая форму представления информации к привычной форме выражения знаний экспертом, мы формируем смысловые, семантические и синтаксические трудности обработки получаемых знаний. Эксперт мыслит образами и психически-эмоциональными переживаниями [9]. Язык (слова, фразы, реплики, предложения) служит лишь ассоциативным носителем образа знаний и формируется индивидуально в течение жизни. Существуют методики анализа смысловой нагрузки слов, но, даже затронув, помимо психических, физиологические процессы мышления и формирования понятий в вербальной форме, вводится понятие семантического поля, где устанавливаются внешние и внутренние связи между словами, образуя множество выражений и понятий, среди которых, с определенной долей вероятности, присутствует требуемое качественное описание, что соответствует интервалу для количественного описания.

При формировании качественных или количественных экспертных оценок значительная часть ресурсов (временных, трудовых, денежных) затрачивается на корреляцию, согласование, уточнение и подгонку получаемой информации.

И все же, несмотря на целый ряд недостатков, неточностей, субъективизма, информация, получаемая от экспертов (оценки либо пары сравнений), является единственным источником исходных данных для методов принятия решений. Существуют две особенности человеческого мышления — это интуиция и мифизация (упрощение) знаний. Попытки классифицировать интуицию довольно широко распространены [10]. Выделяют три вида интуиции: интуиция на основе опыта; интуиция «вопреки» — решения, идущие в разрез опыту и принятой логике; интуиция «сверх» — способность извлечь из опыта нечто, не выводимое аналитически, прямое усмотрение истины на основании опыта. Чаще всего поведение человека является следствием одновременной работы интуиции и иных форм мышления, восприятия либо переживания. Интуиция не является критерием истины, но определяет направления движения логики и опыта. Интуиция значительно ускоряет работу формирования экспертных оценок, либо выделения критериев и характеристик оценивания, и в то же самое время повышает адекватность предлагаемых моделей. Значительно сокращая время исследований, интуиция не дает логических, формальных обоснований того либо иного выбора.

Мифизация знаний — это объективный процесс упрощения и сокращения выдаваемой информации. Отвечая на вопрос ребенка «почему идет дождь?», взрослые акцентируют внимание на испарении, конденсации и выпадении влаги в виде дождя, при этом опустив влияние давления, влажности, температуры, восходящих и нисходящих потоков, строения атмосферы, температурных слоев, видов облаков, структуру фронтов и многое другое. Смысла предоставлять ребенку настолько исчерпывающий объем информации нет, для построения причинно-следственной связи (модели) достаточно весьма скудного описания процесса. И в данном случае описание «испарилась → сконденсировалась → выпала» является таким же мифом, как «плач природы» либо «гнев Богов». Эксперт, формируя оценки, выделяя критерии либо характеристики, использует далеко не полный объем знаний, умышленно упрощая и создавая фиктивные зависимости (мифы) в меру ограниченности вербальных либо иных шкал измерения, в то время, как при сравнении двух альтернатив эксперту проще воспользоваться всем «арсеналом» своих знаний.

Помимо самонаблюдения, описанного выше, существуют и иные методы преобразования чувственных переживаний в оценки. **Метод аналогий** (наблюдения за другими), данный подход призван решить проблему невозможности одновременного переживания и наблюдения. В то время как эксперт переживает, второй эксперт (когнитолог) проводит наблюдение, регистрацию и оценивание. Данные идеи лежат в основе практически всех вербальных коммуникаций, многих эвристических методов (анкетирование, опрос, дискуссия и прочее). Как показывает опыт [5], наблюдение со стороны ничуть не хуже самонаблюдения в получаемых результатах. Основной сложностью данного подхода является правильная интерпретация чувственных переживаний, соотношение их с психологическим портретом испытуемого (эксперта) и корреляция их между собой.

Третьим методом получения информации является **эксперимент**. Помимо преимуществ объективного наблюдения метод аналогий весьма ограничен возможностями испытуемого и испытателя, а также уникальностью каждого наблюдения. Решением данного недостатка является эксперимент. Среди этих преимуществ отметим лишь наиболее очевидные [4]:

а) возможность произвольно создавать то или иное психическое переживание позволила бы подготовиться к его появлению и вести наблюдение на всех ступенях переживания, что, как уже отмечалось, совершенно невозможно при использовании естественного наблюдения;

б) предварительное знание того, когда и какой психический процесс станет предметом нашего

наблюдения, позволяет заранее учесть те моменты, наблюдение за которыми имеет особое значение для целей проводимого исследования;

в) возможность вызывать психический феномен произвольно позволяет сделать это неоднократно. Это обстоятельство имеет особенно большое значение, поскольку то, что один раз по какой-то причине осталось незамеченным, во втором случае может оказаться предметом особого внимания; то, что в одних условиях проявилось в одном виде, в других условиях может переживаться совершенно иначе.

Очевидно, что данный путь исследования создает возможность не только изучения протекания одного и того же феномена в сознании множества субъектов, но и повторного наблюдения различными исследователями одного и того же феномена в идентичных или схожих условиях.

Вундт выделил четыре основных требования, которые должны удовлетворять психологическое исследование, чтобы оно могло считаться экспериментальным [11], а именно: 1) лицо, производящее наблюдение, именуемое обычно в психологии испытуемым, должно иметь возможность самому определять момент начала исследуемого феномена; 2) испытуемый должен иметь возможность пережить данный феномен с максимальным вниманием; 3) должна существовать возможность многократного повторения наблюдения в одинаковых условиях; 4) следует создать возможность изучения исследуемого феномена в различных условиях возникновения путем вариации сопутствующих условий. Вариация этих условий должна происходить либо путем их частичного исключения, либо посредством их количественного или качественного изменения.

К сожалению, совершенно невозможно воссоздать все требования при формировании экспертных оценок. Этому более всего мешают два обстоятельства: во-первых, переживание, появившись однажды, непременно оставляет своеобразный след в сознании, — невозможно повторить в неизменном виде не только наши сложные психические переживания, но и даже такие простые, как, например, ощущения. Во-вторых, еще труднее количественно и качественно менять по нашему усмотрению сопутствующие обстоятельства большинства наших переживаний. Наконец, совершенно невозможно искусственно вызвать некоторые, особенно высшие, переживания.

Как было описано выше, активный эксперимент весьма ограничен в области его применения. Помимо активного существует пассивный эксперимент. Многие принципы пассивного эксперимента перекликаются с методом аналогии (наблюдения). Однако основным отличием между пассивным экспериментом и методом аналогии

является получаемая информация и способ ее получения. Например, в роле эксперта выступает покупатель фотоаппарата. Покупка какого-либо фотоаппарата является выбором альтернативы: если регистрируется факт покупки — это пассивный эксперимент. Если мы наблюдаем за чувственными переживаниями эксперта при рассмотрении каждого альтернативного фотоаппарата, самостоятельно выставляя им баллы или оценки — это метод аналогий (наблюдения); если эксперт, подходя к каждому фотоаппарату, указывает его значимость в заранее установленной количественной или качественной шкале — это метод самонаблюдения; если для фотоаппаратов, после первого выбора, меняют условия выбора (местоположения, освещение, цвет, форма цена и прочее) и эксперту предлагается снова осуществить выбор — это активный эксперимент; если эксперту по очереди предлагают пары фотоаппаратов, среди которых он должен указать предпочтительный — это метод парного сравнения. Очевидно, что метод пассивного эксперимента является гораздо более предпочтительным с точки зрения объективной информации, хотя ее объем весьма ограничен. Пассивный эксперимент, имеет смысл только для построения моделей предпочтения, так как за исходную информацию берется реально принятое решение, без определения структуры предпочтений других альтернатив. Данная процедура является разновидностью парного сравнения, когда единственная альтернатива признаётся лучшей, чем все остальные, а, следовательно, может быть использована, как исходная информация для компараторных методов. Данная постановка эксперимента является наиболее устойчивой с точки зрения выбора решения. На эксперта не оказывается дополнительного давления в виде самонаблюдения, эксперту не нужно формировать универсальную систему критериев, эксперт может в полном объеме применять интуицию и опыт, эксперту не нужно обосновывать и описывать логическую цепочку выбора.

Наряду с очевидными достоинствами пассивный эксперимент обладает важным недостатком: отсутствием информации о структуре предпочтений иных альтернатив.

3. Компараторная идентификация

Анализ проблемы выбора из допустимого множества альтернатив эффективного решения показывает, что формальная математическая задача принятия эффективных многокритериальных решений является некорректной по Адамару, так как не имеет единственного решения [12]. Общий конструктивный подход к решению некорректных задач методом их регуляризации предложен Тихоновым [13], при этом в каждом конкретном случае нужно синтезировать проблемно-ориентирован-

ное правило регуляризации. Общий подход к регуляризации задачи принятия многокритериального решения основан на трансформации исходной задачи скалярной оптимизации. Существует множество эвристических способов такой трансформации [14]: главного критерия, последовательной оптимизации, функционально-стоимостной анализ и др. Но наиболее общим и корректным способом регуляризации, основанным на теории полезности, является использование гипотезы, что для любой многофакторной альтернативы существует количественная обобщающая скалярная оценка полезности вида

$$P(x) = F(k_i(x), \lambda_i), \quad (1)$$

где $k_i(x)$ — частный критерий; λ_i — коэффициент изоморфизма $k_i(x)$.

Для функции полезности (1) выполняются следующие условия: если $x_1, x_2 \in X$, то

$$x_1 \succ x_2 \Leftrightarrow P(x_1) > P(x_2),$$

$$x_1 \sim x_2 \Leftrightarrow P(x_1) = P(x_2). \quad (2)$$

Конструктивное использование теории полезности связано с необходимостью структурно (определение вида оператора F) параметрической (задание численных значений параметров λ_i) идентификации модели (1). Для решения этой задачи в настоящее время используются прямые методы группового экспертного оценивания.

Структурная идентификация заключается в выборе, на основании только эвристических рассуждений, одной из полиномиальных моделей:

аддитивной $F_K(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i(x)$, мультипликатив-

ной $F_K(x) = \prod_{i=1}^n \lambda_i k_i(x)$, смешанной, Куба-Дугласа

$F_K(x) = \prod_{i=1}^n k_i^{\beta_i}(x)$. Самой распространенной, на данный момент, является аддитивная модель. Стоит отметить, что каждый из приведенных полиномов является частью полинома Колмогорова-Габора (3):

$$F(x_m) = \lambda_0 + \sum_{i=1}^m \lambda_i k_i(x_m) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} k_i(x_m) k_j(x_m) + \dots + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m \lambda_{ijk} k_i(x_m) k_j(x_m) k_k(x_m) + \dots \quad (3)$$

Аргументами в пользу выбора полинома Колмогорова-Габора могут послужить следующие доводы [12]:

– как показано в работах Колмогорова [14], обобщенных в последствии Габора, полином (3) позволяет точно аппроксимировать любую функцию многих переменных;

– полином содержит в своём составе как аддитивную, так и мультипликативную линейные по характеризующим факторам $K(x_i)$ составляющие и позволяет формировать на их основе любые полиномы;

– при формировании показателей и оценок для столь сложных систем, как организационные, неизбежным является дублирование показателей, в свою очередь полином способен компенсировать подобное влияние.

Кроме того, так как полезность системы является гладкой монотонной функцией, целесообразно учитывать слагаемые не выше второй степени. Тогда в качестве универсальной структуры модели (3) можно применить усеченный полином Колмогорова-Габора вида:

$$F(x) = \sum_{i=1}^m \lambda_i k_i(x) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} k_i(x) k_j(x). \quad (4)$$

Но аргументированный выбор одного из видов моделей эвристическим методом экспертных оценок невозможен.

Альтернативой может служить метод компараторной структурно-параметрической идентификации. Согласно (2) на основе информации об отношении порядка, полученного путем парного сравнения альтернатив, можно сформулировать систему неравенств.

Для идентификации структуры полинома целесообразно применить метод генетических алгоритмов (ГА) [12]. Хотя ГА являются развитием классического метода случайного поиска, использующем в своей логике элементы эвристик (правил), а отбор лучших вариантов основан на правилах селекции, структура, получаемая в результате работы метода, является оптимальной лишь условно. Она является лучшей лишь среди рассмотренных вариантов, в то время как ГА далек от полного перебора. Но основным преимуществом ГА является соотношение скорости и качества получаемой структуры. На данном этапе целесообразность применения ГА при структурной идентификации была доказана экспериментально. Длина хромосомы для полинома (4) рассчитывается как $N = 2m + C_m^2$, где m – число критериев [12]. Особый интерес представляет собой операция скрещивания (точнее выбор точки кроссовера) и мутации. Правила, применимы для технических систем, не всегда адекватны для организационных.

При параметрической идентификации следует использовать методы, работающие с дискретными скалярными значениями.

К достоинствам метода компараторной идентификации можно отнести следующее [12]:

1. Повышается точность исходной, получаемой от эксперта информации. Это связано с тем, что

человек более точно выполняет операцию сравнения, чем измерения.

2. Появляется возможность отказаться от структуризации задачи и выполнения последовательности промежуточных оценок, дающих накопление погрешностей, заменив их анализом (сравнением) ситуации как целого.

3. Получение исходной информации не только с помощью активных экспериментов (путем проведения экспертиз), но в ходе пассивных экспериментов, путем регистрации конечных результатов естественной деятельности ЛПР, т.е. наблюдения поведения и принятых решений.

Выводы

В статье описан процесс принятия решения и обозначены основные требования к принимаемому решению. Затронуты вопросы классификации методов принятия решений в организационных системах, проявляющих свойства активных открытых систем. При анализе эвристических методов было акцентировано внимание на неспособность таких методов удовлетворить требование оптимальности принимаемого решения, а также отсутствие возможности использовать эвристические методы для построения систем поддержки принятия решений.

Выделенный класс частично-формализованных методов (метод анализа иерархий, ELECTRE, теория полезности) способен устранить оба недостатка, но он использует экспертные количественные оценки как исходную информацию. В статье было показано, что с точки зрения психологических процессов, экспертное оценивание является крайне неустойчивой процедурой и зависит от множества факторов, обуславливающих процессы восприятия, переживания, воспоминания и прочих элементов мыслительной деятельности.

В результате анализа были выделены два процесса получения информации от экспертов, которые обладают достаточной устойчивостью, объективностью и способны активизировать весь потенциал знаний, интуиции и опыта эксперта – это метод парного сравнения и метод единственного выбора (пассивного эксперимента).

В статье также приводится краткое описание процедуры компараторной идентификации как логического продолжения обработки получаемой информации от экспертов при парном сравнении или пассивном эксперименте.

Список литературы: 1. Глушков, В.М. Введение в АСУ [Текст] / В.М. Глушков. изд. 2-е, исправленное и дополненное. К.: «Техніка», 1974, – 320 с. 2. Петров, Э.Г. Методы и инструментальные средства систем поддержки принятия решений при организационном управлении социально-экономическими системами [Текст] / Э.Г. Петров,

Е.В. Губаренко // Бионика интеллекта. — 2010. — №3(74). — С.26-36. **3. Губаренко, Е.В.** Методология формирования количественных оценок уровня развития региона [Текст] / Е.В. Губаренко, Н.В. Подмогильный // Вестник ХНТУ №2(38), 2010г. С.76-80. **4. Згуровский, М.З.** Роль инженерной науки и практики в устойчивом развитии общества [Текст] / М.З. Згуровский, Г.А. Статюха // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — №1. — С. 19-38. **5. Узнадзе, Д.Н.** Общая психология [Текст] : пер. с грузинского Е. Ш. Чомахидзе; Под ред. И. В. Имедадзе. — М.: Смысл; СПб.: Питер, 2004. — 413 с. **6. Лурия, А.Р.** Основы нейропсихологии [Текст] / А.Р. Лурия. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2003. — 384 с. **7. Мах, Э.** Познание и заблуждение. Очерки по психологии исследования [Текст] / Э. Мах. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. — 456 с. **8. Грановская, Р. М.** Элементы практической психологии [Текст] / Р.М. Грановская. — 2-е изд. — Л.: Издательство Ленинградского университета. 1988. — 560 с. **9. Лурия, А.Р.** Язык и сознание [Текст] / А.Р. Лурия., под редакцией Е. Д. Хомской. Изд-во Моск. ун-та, 1979. — 320 с. **10. Косяков, Ю.Б.** Мой мозг. Строение, принципы работы, моделирование [Текст] / Ю.Б. Косяков. Серия «Системы и проблемы управления». — М.: СИНТЕГ, 2001, 164 с. **11. Вундт, В.** Очерк психологии [Текст] : пер. с немецкого Г.А. Паперна — Санкт-Петербург. Изд. Ф. Павленкова. 1896. — 229с. **12. Петров, К.Э.** Компараторная структурно-параметрическая идентификация моделей скалярного многофакторного оценивания [Текст] / К.Э. Петров, В.В. Крючковский. Монография. — Херсон: Олди-плюс, 2009. — 294 с. **13. Тихонов, А.Н.** Методы регуляризации некорректно поставленных задач [Текст] / А.Н. Тихонов, В.А. Морозова // Вычислит. методы и программирование М., 1981.- Вып.35.-С.3-34 Регуляризация. **14. Овезгельдыев, А.О.** Компараторная идентификация моделей интеллектуальной деятельности [Текст] / А.О. Овезгельдыев, К.Э. Петров // Кибернетика и системный анализ. — 1996. — №5. — С. 48-58. **15. Колмогоров, А.Н.** О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения [Текст] / А.Н. Колмогоров // Доклады АН СССР. — 1957. — Т.5(114). — С.935-956.

Поступила в редколлегию 17.01.2011.

УДК 519.81

Методи компараторної ідентифікації як об'єктивна альтернатива суб'єктивізму евристичних методів ухвалення багатокритеріальних рішень / Е.Г. Петров, Е.В. Губаренко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 13–20.

Стаття присвячена дослідженням процесів передуманню ухваленню рішень: вибору критеріїв, формування і оцінювання безлічі альтернатив. Оскільки ці процедури є інтелектуальними процесами, особлива увага приділена психологічній стороні вибору, порівняння, оцінювання і іншому. Приводиться детальний опис методів формування оцінок експертами, серед яких метод самоспостереження, метод аналогій, метод пасивного і активного експерименту, метод парного порівняння. Приведені переваги і недоліки кожного методу, а так само сформульовані умови найкращого вживання кожного з них. В результаті досліджень показана перспективність вживання компараторних методів ухвалення рішень, в яких вихідна інформація формується за принципом виділення переважної альтернативи з пари порівнюваних. У статті по-кроково описується процес ухвалення рішень, а так само приводяться рекомендації з вибору вигляду моделі функції оцінки корисності багатокритеріальних альтернатив.

Бібліогр.: 15 найм.

UDK 519.81

Methods comparative identifications as objective alternative to subjectivity of heuristic methods of acceptance multicriteria decisions / E.G. Petrov, E.V. Gubarenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 13–20.

Article is devoted researches of processes previous decision-making: a choice of criteria, formation and estimation of set of alternatives. As these procedures are intellectual processes, the special attention is given a psychological aspect of a choice, comparison, estimation and other. The detailed description of methods formation of estimations by experts, among which introspection method, a method of analogies, a method of passive and active experiment, a method of pair comparison is resulted. Merits and demerits of each method and as conditions of the best application of each of them are formulated are resulted. As a result of researches perspective of application compарatorных decision-making methods in which the initial information is formed by a principle of allocation of preferable alternative of pair the compared is shown. In article decision-making process and as it is resulted recommendations for choice a kind of model of function of an estimation of utility of multiple-factor alternatives is in details described.

Ref.: 15 items.

УДК 004.89+612.82



СТЕПЕННЫЕ РЯДЫ ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ В МОДЕЛЯХ НЕЙРОДИНАМИКИ

С.В. Смеляков¹¹ ХУВС, г. Харьков, Украина, agni@vlink.kharkov.ua

На основе анализа данных о значениях типовых периодов осцилляций, генерируемых популяциями нейронов, показано, что их значения распределены по степенному ряду Золотого сечения, который определяет значительную часть базовых периодов в природе и обществе — от циклов солнечной активности и тропического года до биологических и экономических циклов. Показано, что изменения в ритмах мозга следуют алгебраическим свойствам этого ряда, определяя негармонические резонансы.

ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ, АУРИЧЕСКАЯ ШКАЛА ВРЕМЕНИ, ОСЦИЛЛЯЦИЯ НЕЙРОНА, ЭЭГ, ЧАСТОТА, ПЕРИОД

Введение

Золотое сечение владело мыслью многих выдающихся мыслителей, и не только из-за своих математических свойств. С древнейших времен в нем находят выражение гармонии в природе, признак структурного единства объектов в архитектуре, музыке, биологии, технике. Об этом свидетельствует, например, то, что это число, наряду с числом π , определяет форму Великой пирамиды в Гизе и иных сооружений Древнего мира. Леонардо да Винчи дает ему имя *Sectio Aurea* (Золотое сечение), а ранее, открытием ряда Фибоначчи в 1202 г., было положено начало его математическому изучению.

Золотое сечение продолжает притягивать внимание ученых и в наше время, поскольку открываются все новые проявления этого числа в различных явлениях природы и социальных процессах. Особый интерес в этом отношении вызывает то, что в отличие от традиционных физических моделей колебательных процессов, где резонансные явления возникают на натуральных гармониках, Золотое сечение проявляет себя в том, что обнаруживается в резонансах на иррациональных гармониках, которые в отношении основной частоты кратны целым степеням числа Золотого сечения.

Подобный феномен в большинстве случаев не имеет физического объяснения, но достоверно выявляется в колебательных процессах и циклах, которые наблюдаются в геологии, астрономии, криминалистике, биологии и иных областях [1 – 10], где, однако, обычно рассматривают не частоты, а периоды, которые и представляют основной предмет анализа.

Более того, установлено, что речь идет не о спорадической корреляции периодов для отдельных явлений, а о систематическом совпадении основных и резонансных периодов различных процессов со значениями *единой* дискретной шкалы периодов, образованной степенями Золотого сечения. Поэтому ввиду высокой значимости объектов, порождаемых этим числом, для удобства ссылок на них было введено [4] прилагательное «аурический» — от латинского названия Золотого сечения.

Например, как определительное для аурической шкалы периодов/времени (ATS), которая и задает эту дискретную шкалу. Между тем, эта шкала определяет не только периоды, но и эволюционное время [6].

Феноменальное совпадение разнородных базовых периодов со значениями аурических рядов (для определенности назовем его синхронизмом) имеет не только общенаучный интерес, но и важен при решении многих практических задач, поскольку выявление резонансов на системе аурических периодов и порождаемых ими гармоник позволяет более точно моделировать и прогнозировать развитие различных процессов, в том числе — биологических систем. В этом отношении безусловный интерес представляет получение математической модели, описывающей осцилляции популяций нейронов, которые отображаются на электроэнцефалограмме (ЭЭГ) в графическом или цифровом виде, поскольку частоты периодических сигналов и латентность (время задержки между внешним воздействием и реакцией нейронов) тесно связаны с реакцией мозга на поступающую информацию — как в виде сигналов, так и когнитивных задач, требующих принятия решения по распознаванию символов, лиц, текста и др. Поскольку получение сигналов от популяций нейронов не представляет принципиальных сложностей, адекватный анализ этих сигналов открывает широкие перспективы в области когнитивистики, включая вопросы создания искусственного интеллекта, нейрокомпьютерного интерфейса, и в иных областях [8, 9].

Поэтому идентификация модели, которая определяет параметры электрических осцилляций популяций нейронов и характер их взаимодействия, представляет актуальную научную проблему, решение которой будет способствовать более адекватному решению задач в смежных областях, где эти ритмы используются для оценивания ситуаций и принятия соответствующих решений; например, при создании детектора лжи нового поколения, который реагирует на практически не контролируемые сознанием реакции мозга.

В развитие гипотез о синхронизации отдельных ритмов числом Золотого сечения в данной работе обосновывается модель осцилляций, которая с единых позиций и с учетом точности данных отвечает на два вопроса: как ритмы мозга синхронизированы между собой и как система этих ритмов связана с аурической шкалой времени, определяемой степенными рядами Золотого сечения, которую можно рассматривать как «всеобщую» для Земных процессов, поскольку она соотносит солнечные ритмы с земными периодами в диапазоне от геологических эпох до долей секунды. В качестве исходных данных для этого используются известные статистически устойчивые данные о ритмах мозга.

1. Основные элементы модели ATS

Золотое Сечение исторически пришло к нам как закон пропорциональной связи целого и составляющих его частей, который широко применялся в архитектуре. Классическим примером является деление отрезка в средне пропорциональном отношении, когда целое ($c = a + b$) так относится к большей своей части (b), как большая часть к меньшей (a):

$$\Phi \equiv \frac{a+b}{b} = \frac{b}{a}. \quad (1)$$

В этом отношении говорят, что прямоугольник со сторонами b и a отражает “форму” Золотого сечения.

Соотношение (1) задают и в обратном виде, как отношение меньшего к большему, части к целому:

$$\phi \equiv \frac{1}{\Phi} = \frac{b}{a+b} = \frac{a}{b}. \quad (2)$$

Решение пропорций (1) или (2) дает единственное значение для чисел Φ и ϕ :

$$\Phi = \frac{\sqrt{5}+1}{2} = 1.618\,033\,9\dots, \quad (3)$$

$$\phi = 0.618\,033\,9\dots, \quad (4)$$

где совпадение мантисс не случайно, поскольку

$$\Phi = 1 + \phi. \quad (5)$$

Аурический ряд (в узком смысле) — это геометрическая прогрессия $\Gamma = \{\Phi^i\}_{i \in (-\infty, \infty)}$ вида

$$\dots, \Phi^{-3}, \Phi^{-2}, \Phi^{-1}, \Phi^0 = 1, \Phi^1, \Phi^2, \Phi^3, \dots, \quad (6)$$

которую, без использования отрицательных степеней, можно представить в виде

$$\dots, \phi^3, \phi^2, \phi^1, \phi^0 \equiv \Phi^0 = 1, \Phi^1, \Phi^2, \Phi^3, \dots, \quad (7)$$

где $\phi^k < 1$, а $\Phi^k > 1$, $k > 0$.

Гармоническим сопряжением ряда Γ порядка k (аурическим рядом в широком смысле) назовем ряд $\Gamma_k = \{k \cdot \Phi^i\}_{i \in (-\infty, \infty)}$, полученный из Γ посредством домножения каждого его члена на натураль-

ное число $k > 0$. Важнейшим для последующего является ряд порядка 2, то есть ряд

$$\dots, 2\phi^2, 2\phi^1, 2\phi^0 \equiv 2\Phi^0 = 2, 2\Phi^1, 2\Phi^2, \dots \quad (8)$$

Обозначим его G и будем называть *сопряженным рядом*, если иные значения k не рассматриваются.

Ряд (числа) Фибоначчи $U = \{u_i\}_{i=1,2,\dots}$ — это ряд из натуральных чисел, который задается начальными членами $u_1 = u_2 = 1$ и рекуррентным правилом

$$u_{n+1} = u_n + u_{n-1}. \quad (9)$$

Также рассматривается ряд $V = \{v_i\}_{i=1,2,\dots}$, который построен по тому же рекуррентному правилу (9), но с начальными членами $v_1 = 1$ и $v_2 = 3$. Связь между этими рядами определяется равенствами

$$v_n = u_{n-1} + u_{n+1}, n > 1, \quad (10)$$

а двенадцать их первых значений даны в табл.1.

Таблица 1

Первые двенадцать значений рядов U , V и Γ

Номер члена ряда, i	$U = \{u_i\}_{i=1,2,\dots}$	$V = \{v_i\}_{i=1,2,\dots}$	$\Gamma = \{\Phi^i\}_{i \in (-\infty, \infty)}$
0	—	—	$\Phi^0 = 1$
1	1	1	1,618...
2	1	3	2,618...
3	2	4	4,236...
4	3	7	6,854...
5	5	11	11,090...
6	8	18	17,944...
7	13	29	29,034...
8	21	47	46,978...
9	34	76	76,013...
10	55	123	122,991...
11	89	199	199,005...
12	144	322	321,996...

Аурические ряды и числа Фибоначчи. Для того чтобы геометрическая прогрессия $\{a \cdot q^i\}_{i=-\infty, \infty}$, $a > 0$ удовлетворяла свойству (9), необходимо и достаточно, чтобы ее знаменатель q был равен числу Φ . Это утверждение вытекает из того, что подстановка соответствующих членов прогрессии в (9) приводит к уравнению $q^2 - q - 1 = 0$, определяющему число Золотого сечения. Поэтому все аурические ряды, т.е. ряд Γ и гармонические сопряжения Γ_k , удовлетворяют равенству

$$\gamma_i + \gamma_{i+1} = \gamma_{i+2}, \quad (11)$$

определяющему свойство Фибоначчи. Вместе с тем, в отличие от рядов Фибоначчи, составленных из натуральных чисел, для аурических рядов это свойство выполняется и для обратных величин

$$1/\gamma_{i+2} + 1/\gamma_{i+1} = 1/\gamma_i. \quad (12)$$

Поэтому систему (11), (12) назовем *характеристическим свойством аурических рядов*. Заметим,

что если члены этих рядов соотносятся с временем, то равенство (11) определяет свойства периодов, а (12) — частот.

Таким образом, аурические ряды и числа Фибоначчи представляют вещественную и целочисленную реализацию одного и того же соотношения (9); первые — обобщение рядов Фибоначчи на вещественные числа, а сами ряды U и V , которые выражаются через Золотое сечение, — целочисленное приближение рядов G и Γ на интервале $i \in (0, \infty)$. Кроме того, эти ряды связаны следующими соотношениями.

Для рядов Γ и G имеем: $2 \cdot \gamma_i = g_i$.

Для рядов U и V имеем (10) и $v_n = u_{2n} / u_n$.

Ряды Γ и U связаны соотношениями

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

$$\Phi^n = u_n \cdot \Phi + u_{n-1}.$$

Член Φ^i ряда Γ дает Золотое сечение отрезка $[u_{i+1}, u_{i+2}]$ для членов ряда Фибоначчи (рис.1)

$$u_{i+1} + (u_{i+2} - u_{i+1}) \cdot \Phi = \Phi^i \equiv \gamma_i. \quad (13)$$

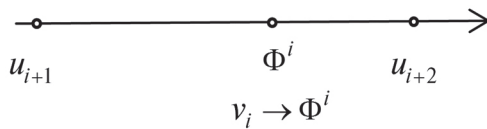


Рис.1. Член Φ^i ряда Γ делит отрезок $[u_{i+1}, u_{i+2}]$ между членами ряда Фибоначчи в Золотом сечении

При этом имеют место следующие асимптотические приближения рядов Γ_k натуральными числами с экспоненциально убывающей погрешностью:

— число Золотого сечения аппроксимируется отношением чисел Фибоначчи: $\Phi \approx u_{i+1} / u_i$;

— ряд V приближает ряд Γ , т.е. $\gamma_i = \Phi^i \approx v_i$. Это следует из $v_i = \Phi^i + (-\phi)^i$. Так, уже при $n = 7$ расхождение между членами $\Phi^7 \approx 29,034$ и $v_7 = 29$ (см. табл.1) составляет величину порядка 0,1%;

— члены ряда Γ , отнесенные к $\sqrt{5}$, также аппроксимируются числами Фибоначчи: $\Phi^i / \sqrt{5} \approx u_i$;

— ряд Γ дает точные, а ряд V — асимптотические точки Золотого сечения для ряда U (см. рис.1).

Таким образом, аурические ряды Γ и G , порождаемые степенями Золотого сечения, и ряды Фибоначчи U и V , порождаемые рекуррентным суммированием натуральных чисел, по сути представляют одни и те же свойства, но мультипликативно и аддитивно, т.е. на множестве вещественных и натуральных чисел соответственно.

Это единство аурических и рекуррентных свойств рассмотренных рядов, а также асимптотическая близость их значений важна при анализе корреляций наблюдаемых периодов со значениями аурических рядов типа Γ_k , поскольку объясняет, почему наряду с их значениями возникают

корреляции с числами Фибоначчи [3, 7]. По этим причинам далее все эти ряды рассматриваются как аурические в широком смысле.

Аурической шкалой времени (ATS) в узком смысле назовем аурический ряд Γ , единица которого $\Phi^0 = 1$ соответствует выбранной единице времени. Она определяет дискретные значения времени степенями Золотого сечения; так, если единице шкалы Γ сопоставлен тропический год (365,24 средних солнечных суток), то члену Φ^1 соответствует 1,618 года, члену Φ^2 — 2,618 года, члену $\Phi^1 - 0,618$ года, члену $2 \cdot \Phi^1$ ряда G — 3,263 года. Эти значения можно представить и в иных единицах; например, Φ^1 соответствует значению 365,24 $\cdot \Phi^1 \approx 590,97$ суток, а ближайший к 1 с член ряда Γ есть Φ^{36} (лет) $\approx 0,94523$ с.

Аурической шкалой времени в широком смысле понимается совокупность аурического и сопряженных рядов с единицей времени, определяемой рядом Γ , а также ряд Фибоначчи. Вместе с тем, следует иметь в виду, что хотя наблюдаемые корреляции описываются всеми этими рядами, ядро этой алгебраической системы составляет аурический ряд Γ , члены которого преимущественно и совпадают с большей частью базовых периодов в природе и обществе, тогда как сопряженные ряды Γ_k , и прежде всего — ряд G и ряд Фибоначчи U , выполняют роль, подобную натуральным гармоникам.

В частности, оказывается [3, 7, 10], что значения аурической шкалы времени с высокой точностью коррелируют с периодами обращения (вокруг Солнца) планет и иных объектов со средней длительностью T_0 11-летнего цикла солнечной активности. При этом и распределение максимумов этих циклов имеет аурическую структуру [5].

Так, в тропических годах период T_0 составляет 11,07, а периоды Венеры и Меркурия — 0,6152... и 0,2408... лет, соответственно. Поэтому, если за единицу времени аурической шкалы Γ принять тропический год, то этим периодам будут соответствовать длительности (в годах), определяемые следующими членами ряда: $\Phi^5 \approx 11,09$, $\Phi^{-1} \approx 0,618...$ и $\Phi^{-3} \approx 0,236...$, а величину, сопоставимую с секундой, представляет член ряда $\Phi^{36} \approx 0,945$ с. Если же за единицу времени ряда Γ принять период T_0 , то периоды обращения Земли, Венеры и Меркурия составят Φ^{-5} , Φ^{-6} и Φ^{-8} . С достаточно малой погрешностью эта корреляция выполняется и для иных объектов Солнечной системы — для ряда Γ или его гармонических сопряжений [3].

Иначе говоря, периоды планетарных обращений и средней длительности цикла солнечной активности в совокупности совпадают с членами геометрической прогрессии (7), а значит выбор единицы времени (т.е. соотношение члена ряда $\Phi^0 = 1$ с длительностью того или иного процесса)

является *вопросом удобства*. Поэтому далее считаем, что эту единицу времени определяет тропический год.

Более того, базовые и резонансные периоды многих процессов в природе и обществе также совпадают со значениями аурической шкалы [1, 10, 11], которая, тем самым де факто соотносит не только указанные астрономические периоды, но и многие иные процессы в диапазоне от секунд до миллионов лет, которые определяют ритмы биологических объектов, экономических и геологических процессов.

В этом отношении выявление основных периодов процессов, которые соответствуют членам ряда Γ , представляет не только общенаучный интерес, подтверждая универсальную значимость АШВ, позволяющей достаточно точно и системно соотносить периоды процессов, разнородных как по порядку величины, так и по природе описываемых ими явлений, но и позволяет на более глубоком уровне производить структурную и параметрическую идентификацию моделей изучаемых процессов.

Анализ точности корреляций составляет необходимый аспект изучения рассматриваемой проблемы, который, к сожалению, в большинстве случаев не имеет системного характера или вовсе игнорируется. Речь о том, что выводы о наличии или отсутствии корреляций с периодами АШВ в рамках *системы* периодов должны приниматься на основе сравнения погрешностей рассматриваемых величин с принятым предельным значением погрешности. Так, при анализе описанных выше корреляций отклонение значения τ наблюдаемого периода от точного значения t оценивалось аналогом относительной погрешности и сравнивалось с пороговым значением δ_* . Именно, считаем, что периоды τ и t в рамках рассматриваемой системы периодов совпадают, если относительное отклонение

$$\delta_{\tau,t} = |\tau - t| / \min \{\tau, t\} \quad (14)$$

не превышает порогового значения δ_* . В этом случае равенство периодов обозначим $X \equiv Y (\delta_{\tau,t})$.

Значение δ_* выбиралось из наименее точных, но принципиально важных периодов, модулирующих земные процессы. Таким является средняя длительность 11-летнего цикла Солнечной активности с относительной погрешностью 0,6%. Тогда с порогом $\delta_* = 0,6\%$ период $T_0 = 11,07$ совпадает с членом $\Phi^5 = 11,09$ ряда Γ , поскольку для этих величин погрешность (14), равная 0,2%, меньше, чем δ_* .

Резонанс и гармоники. Резонансом обычно называется явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний осциллирующей системы, которое наступает при приближении частоты

внешнего воздействия к некоторым значениям — резонансным частотам, которые определяются гармониками основной (собственной) частоты колебаний этой системы. Примерами таких систем являются электрические контуры, гравитационно связанные объекты и др.

Основная частота — это, как правило, частота, на которой система функционирует в некотором расчетном режиме; если таких частот несколько, то под основной понимается минимальная из них.

Гармоника — это частота (или компонента сигнала), которая представляет натуральное кратное $n \cdot f$ основной частоты f , где $n = 2, 3, \dots$ — натуральное число. В ряде случаев значимый эффект оказывают и дробные гармоники, где n представляет отношение малых целых чисел ($1/2, 3/4, 2/3$ и др.). Говорят также, что высшая гармоника — это спектральная компонента периодического сигнала с частотой, кратной частоте основного тона.

Резонанс и гармоники в широком смысле. Однако возникновение колебаний и возрастание амплитуды могут возникать и когда внешнее воздействие отсутствует или неизвестно. Поэтому при анализе циклов в природе и обществе теоретический интерес и практическую значимость представляет резонанс в *широком смысле* — как возникновение устойчивых колебаний с определенными периодами или усиление их амплитуды на некоторых частотах. Но основную резонансную частоту можно выделить не всегда; в ряде случаев наблюдается система типовых частот, причины возникновения которых не всегда известны или воспроизводимы.

Мы можем не знать, по какой причине в этих процессах некоторые значения частот проявлены чаще, чем другие, но имеем возможность выявлять эти частоты с помощью методов спектрального анализа (геологические эпохи [1], циклы солнечной активности [2]), или статистически — посредством построения плотности распределения частот для однотипных процессов (ритмы мозга [9]). В этом смысле о резонансе и резонансных частотах говорят как о доминирующих значениях, определяющих реакцию изучаемого явления на известные или неизвестные воздействия. И по сути, это — тоже резонанс по амплитуде, поскольку анализируемый фактор проявляется лишь на отдельных частотах.

Вместе с тем, при изучении циклов основным предметом анализа чаще являются длительности, поэтому основной интерес представляют периоды процессов. При этом выделяют период T некоторого основного цикла, а также периоды циклов, длительность которых как в n раз меньше, чем T (они соответствуют рассмотренным выше гармоникам), так и в n раз больше, которые называют субгармониками. Это связано с тем, что хотя подобные периоды могут быть выявлены из наблюдений, не

всегда известны причины их возникновения или нет оснований для выбора основного периода.

Более того, у подобных резонансных периодов во многих процессах наблюдаются гармоники, которые не укладываются в традиционную концепцию физического резонанса и гармонического анализа, поскольку они связаны с основным периодом иррациональными множителями; например, в геологических циклах [1], причем типичным в этом отношении является соотношение периодов по Золотому сечению и его степеням, т.е. посредством членов ряда Γ или сопряженных рядов, прежде всего — ряда G . При этом на резонансных частотах (периодах), определяемых членами ряда Γ , как на основной частоте, часто возникают резонансы на частотах (периодах) $n \cdot \Phi^k$, где $n = 2, 3, \dots$.

Но самым замечательным при этом является даже не возникновение подобных гармоник, которые назовем аурическими, а то, что сами основные периоды и гармоники значительного числа базовых процессов представлены членами одного и того же ряда Γ с фиксированной единицей времени, соответствующей члену $\Phi^0 = 1$. Фундаментальной особенностью этого ряда является то, что он связывает периоды планетарных обращений и циклов солнечной активности с процессами, протекающими на Земле, причем в диапазоне от геологических периодов до долей секунд. Поскольку эта синхронизация периодов разнородных процессов не зависит от выбора единицы времени, АШВ и представляет по сути всеобщую шкалу периодов.

2. Ритмы мозга и их отображение в ЭЭГ

В собирательном смысле под *ритмами мозга* понимаются изменения *электрического потенциала* нейронов в различных областях коры головного мозга, которые характеризуют активность мозга субъекта как в различных состояниях бодрствования и сна, так и его реакцию на *стимулы* — внешние воздействия, которые вызывают рефлекторную реакцию организма или требуют принятия решения в отношении достаточно простых задач распознавания и др.

Хотя существует возможность изучения потенциалов отдельных нейронов, обычно речь идет о рассмотрении потенциалов *популяций нейронов*, которые, ввиду синхронности и единообразия их ориентации как диполей, формируют достаточно сильные сигналы, чтобы их можно было зарегистрировать с помощью доступных средств без внедрения электродов в мозг — посредством наложения электродов на кожный покров черепа.

Получаемые при этом электрические сигналы регистрируются графически — в виде *электроэнцефалограммы* (ЭЭГ) или в цифровом виде, причем каждая область коры, от которой идет сигнал, рассматривается как отдельный канал; это связано и

с тем, что различные популяции нейронов в одно и то же время могут генерировать сигналы, в которых доминируют различные частоты, характеризующие активность соответствующего отдела мозга. При этом полярность сигнала определяется относительно выбранной зоны коры. Если потенциалы рассматриваются только как электрические сигналы, безотносительно областей их возникновения в коре головного мозга, говорят о волнах ЭЭГ, или, собирательно — о *волнах мозга*. В качественном отношении эти сигналы можно разбить на две основные группы.

Периодические осцилляции характеризуется достаточно высокой стабильностью частоты и амплитуды, хотя на отдельных интервалах могут возникать веретенообразные модуляции и другие особенности. Как показывают лабораторные эксперименты, даже одна область неокортекса может генерировать частоты в диапазоне от 1 до 100 Гц, причем одна и та же частота может порождаться вследствие разных причин (например, α и μ ритмы). Эти колебания характеризуют активность мозга в определенных состояниях субъекта (бодрствование, ментальная концентрация, фазы сна и др.).

Первая важная особенность этих осцилляций состоит в том, что их частоты концентрируются вокруг определенных дискретных значений. Именно в результате спектральной обработки наблюдаемых ритмов установлено конечное число *частотных диапазонов*, обозначаемых греческими буквами. В каждом из них распределение частот имеет явно выраженное островершинное распределение [9], определяющее *модальную частоту*; обозначается она той же буквой, что и диапазон.

Вторая особенность состоит в том, что даже в лабораторных условиях частоты не генерируются «по одной»: попытки вызвать осцилляции на отдельных частотах, как правило, приводят к возникновению ряда модальных частот, причем алгебраические свойства основных и вторичных частот кардинально отличаются от того, что наблюдается в случае гармонических колебаний: даже приближенные оценки показывают, что эти частоты не соотносятся как натуральные гармоники, а обладают свойствами рядов Фибоначчи.

Таким образом, дискретный спектр модальных частот определяет общие свойства ритмов мозга в отношении генерации и трансформации частот, а диапазоны характеризуют область их распределения с учетом психофизических различий субъектов; поэтому далее рассматриваются усредненные характеристики — модальные частоты и границы диапазонов.

Переходные процессы описывают осцилляции электрического потенциала популяций нейронов, который быстро развивается до максимума, а затем — так же быстро замирает. В ответ на внешнее воз-

действие они возникают в тех популяциях, которые соответствуют типу стимула. Форма этих сигналов характеризуется амплитудой и латентностью пиков, а также полярностью волны. Амплитуда указывает на степень проявленности реакции, а *латентность* определяет время между воздействием стимула и максимумом потенциала как наиболее выраженной фазой реакции нейронов. Поэтому латентность, как основной временной параметр колебательного процесса, можно соотносить с периодами осцилляций первого типа и со значениями шкалы ATS, а обратную ей величину — с частотами.

Латентность также обладает определенной стабильностью, однако в меньшей степени, чем частоты периодических колебаний, поскольку зависит не только от реакции субъекта, но и от стимула в пределах типового класса. В этом отношении усредненные значения латентности представляют конечную совокупность, определяемую основными типами стимулов. Точнее говоря, для определенных классов однотипных стимулов (световой или звуковой раздражитель, тип задачи на принятие решения и др.) латентность имеет тенденцию принимать значения в определенном *интервале*, обозначаемом буквой и цифрой (например, P3 или P300 — максимум положительного потенциала с латентностью 300 мс), в пределах которого распределение латентностей имеет не столь выраженную моду как в случае периодических процессов. Кроме того, в пределах одного процесса иногда рассматривают и латентности, определяемые локальными экстремумами потенциала. В связи с этим в литературе значения латентности определяются интервалами и приближенными значениями, округленными до десятков или сотен миллисекунд. Поэтому в целях данной работы для них используются средние для границ диапазонов.

Таким образом, ритмы мозга, зависящие как от внутреннего состояния субъекта, так и от внешних воздействий, описываются колебаниями электрического потенциала, основной временной параметр которого характеризуются дискретностью средних значений; для единообразия, назовем его *периодом*.

Особенности распределения периодов. Было замечено, что пики плотности распределения частот периодических ритмов мозга точно попадают в соответствующие диапазоны, причем распределены, в целом, по логарифмическому закону относительно центральной частоты. Но число этих диапазонов оказалось примерно вдвое больше того, что следовало бы ожидать в случае натурального логарифма. Именно, было отмечено [9], что эти частоты возрастают примерно с коэффициентом 1,6 (т.е. в Золотом сечении), а не по основанию натурального логарифма $e = 2,718...$, которое ас-

социируется с организацией многих систем естественного происхождения. Хотя «механизм» порождения аурического распределения базовых частот остается неизвестным, как и в небесной механике, и в других областях, в условиях возникновения натуральных гармоник оно имеет очевидное проявление — предотвращать гармонические резонансы между гармониками, порождаемыми разными базовыми частотами. В частности, высказывается предположение, что «для обеспечения минимального взаимодействия между диапазонами, в каждом из которых закодировано управление определенным видом активности, необходимо, чтобы их частоты относились как иррациональные числа. В этом отношении разнесение базовых частот по ряду Золотого сечения дает возможность неокортексту упаковать в ограниченной частотной области максимальное число минимально взаимодействующих между собой диапазонов частот» [9].

Однако численного анализа этих соответствий и их соотношения с единицами времени, не связанными с искусственной мерой — секундой — не производилось, как и численного и алгебраического анализа наблюдаемых аурических преобразований частот.

Также установлено [8], что объем памяти определяется *натуральными* гармониками фундаментальной для когнитивистики частоты P300, для которой авторами предложено приближение 2Φ Гц. Можно было бы допустить, что они правы, считая, что при имеющейся точности данных поиск более точного приближения для фундаментальной частоты нецелесообразен, если речь вести лишь о численном приближении в рамках условной системы единиц — Гц. Вместе с тем, совпадение периодов и латентностей ритмов мозга со значениями аурической шкалы времени позволяет по новому взглянуть на этот вопрос и выявить наличие системы корреляций ритмов мозга с ритмами природы и общества.

Таким образом, наличие в нейродинамике отдельных концепций о связи ритмов мозга с Золотым сечением имеет эмпирические основания, но они не представляют системной модели, обоснованной численно и алгебраически.

3. Распределение частот волн мозга по значениям Аурической шкалы

В работе [9] приводится распределение частот устойчивых ритмов, генерируемых неокортексом *in vitro* (в лабораторных образцах) в интервале от 1 до 100 Гц, причем в течение длительного промежутка времени, что позволило использовать статистические методы обработки данных. При этом указывается на соответствие полученных результатов данным *in vivo* (в живом организме), прямая генерация которых в течение длительного

времени невозможна из-за переходных процессов, приводящих к возникновению ряда других частот. Представленный в работе график демонстрирует сильно выраженную модальность распределений на отмеченных частотах и то, что значения частот, соответствующих пикам распределений, попадают в ясно различимые диапазоны, определяемые пересечениями графиков распределений, которые ранее были введены из эмпирических соображений.

Отмечается, что число этих диапазонов выглядят приближенно распределенными по логарифму Золотого сечения Φ ; однако числовые обоснования этого утверждения в работе [9] отсутствуют. В соответствии с этой гипотезой оценим параметр a распределения

$$r_i = a \cdot \Phi^{i-1}, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (15)$$

определяющего модельные частоты r_i дискретного спектра наблюдаемых ритмов мозга ($n = 8$), которые, для определенности, назовем базовыми. В качестве наблюдаемых значений f_i (табл. 2, колонка 2) рассмотрим частоты [9], которые в этих диапазонах соответствуют пикам распределений.

Таблица 2

Наблюдаемые частоты f_i базовых ритмов мозга, их МНК-аппроксимация r_i по (15) и частоты $z_i = z_1 \cdot \Phi^{i-1}$ сопряженного ряда аурической шкалы времени, $z_1 = \omega_{39} = 2,2407$ Гц.

Номер i и название диапазона	Частота (Гц)			Логарифм частоты	
	f_i	r_i	z_i	$\lg_{\Phi} f_i$	$\lg_{\Phi} r_i$
1	2	3	4	5	6
1, $\delta 1$	1,5	2,23	2,24	0,843	1,670
2, $\delta 2$	2,5	3,61	3,63	1,904	2,670
3, θ	7	5,85	5,87	4,044	3,670
4, α	10	9,46	9,49	4,785	4,670
5, $\beta 1$	15	15,31	15,36	5,628	5,670
6, $\beta 2$	24,5	24,78	24,85	6,647	6,670
7, $\gamma 1$	40	40,09	40,21	7,666	7,670
8, $\gamma 2$	65	64,86	65,06	8,675	8,670

Для получения эмпирических значений частот данные усредняются за достаточно длительные промежутки. Это приводит к потере части информации, поскольку динамика активности коры чрезвычайно высока и чувствительна к сенсорным и иным воздействиям, которые могут вызвать изменения в масштабах нескольких миллисекунд. Поэтому можно считать, что относительная погрешность δ_f для частот f_i не меньше 0,01 (т.е. 1%) и, в среднем, не превышает 0,1 (т.е. 10%).

Поскольку наблюдаемые базовые частоты имеют естественное рассеяние, для оценивания пара-

метра a воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК). В этом случае оценка для параметра a из (15) примет вид

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \times \Phi^{i-1}}{\sum_{i=1}^n \Phi^{2(i-1)}} = 2,233975 \approx 2,23 \quad (16)$$

с СКО $\sigma = 0,7$. При этом если средняя погрешность для всех частот составляет порядка 10%, то для последних пяти диапазонов – лишь 1%; по-видимому это связано с большей неточностью исходных данных для низкочастотных диапазонов, что частично отмечено в [9].

Сама по себе оценка (16) интересна тем, что с высокой точностью связана с числом Φ , так как $a \approx 2 \cdot \Phi - 1$ ($\delta = 0,1\%$). Поэтому в единицах числа Φ уравнение (15) выражается через это число:

$$R_i = (2 - \Phi) \cdot \Phi^i, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (17)$$

Но несравненно более важно то, что частота r_1 с достаточно высокой точностью совпадают с частотой $\omega_{39} = 1/g_{39}$, определяемой членом $g_{39} = 2 \cdot \Phi^{39}$ сопряженного ряда G , где в качестве единицы времени выбран тропический год: $g_{39} = 2 \cdot \Phi^{39} = 0,44628$ (с), т.е.

$$\omega_{39} = 2,24073 \text{ Гц}; \quad (18)$$

именно,

$$\omega_{39} \approx r_1 \quad (\delta = 0,3 \% \text{ или } \Delta = 0,007 \text{ Гц}). \quad (19)$$

Поэтому с той же точностью и все остальные частоты r_i совпадают с частотами z_i ряда G .

Таким образом, частоты r_i , определяемые аурической моделью (15), достаточно точно описывают значения центров f_i частотных диапазонов ритмов мозга и, что наиболее важно, практически точно совпадают со значениями частот z_i , определяемыми аурической шкалой времени. Высокую точность этой корреляции демонстрирует рис.2, где для наглядности (за счет приведения к линейной зависимости) для частот используется логарифмический масштаб. Соответствующие числовые значения приведены в табл. 2 (колонки 5, 6).

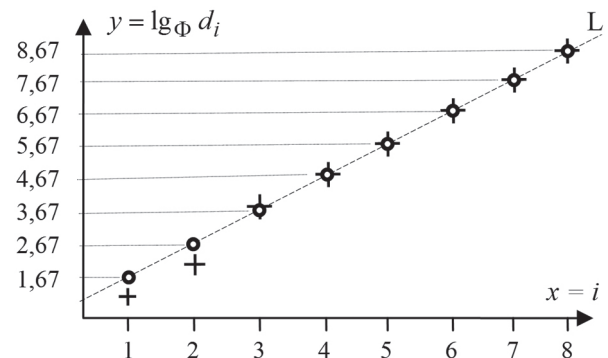


Рис. 2. Логарифмы по основанию Φ для частот r_i и f_i , соотносимых с номером диапазона i , ($i = 1, 2, \dots, 8$). Логарифмы частот f_i для ритмов мозга обозначены $+$, а членов прогрессии $r_i = a \cdot \Phi^{i-1}$ – знаком $\bullet$. Последние лежат на прямой регрессии L с уравнением $y = \lg_{\Phi} a + x$, где $\lg_{\Phi} a = 1,67$

Сказанное можно заключить следующим.

1. МНК-аппроксимант (15) базовых частот ритмов мозга *практически точно* (с погрешностью 0,3%) определяется значениями сопряженного ряда G аурической шкалы времени. Поэтому можно считать, что в пределах точности исходных данных именно аурический ряд G является теоретическим приближением для наблюдаемого спектра частот ритмов мозга.

2. Базовые периоды ритмов мозга $T_i = 1 / f_i$, ($i = 1, 2, \dots, 8$) в пределах точности, определяемой погрешностью исходных данных, совпадают с периодами сопряженного ряда G . В единицах тропического года они принимают значения

$$2 \cdot \phi^{39}, 2 \cdot \phi^{40}, \dots, 2 \cdot \phi^{46}.$$

В единицах средней длительности циклов солнечной активности эти значения примут вид $2 \cdot \phi^{44}, \dots, 2 \cdot \phi^{51}$.

3. Поскольку погрешность аппроксимации (15) для 5 верхних из 8 базовых частот ритмов мозга имеет точность порядка 1%, можно предположить, что значения частот для δ и θ ритмов [9] модифицируются действием факторов, природа которых неизвестна или игнорировалась при измерениях.

4. Распределение длительности реакции на стимулы по значениям аурической шкалы

4.1. Вызванный и событийно ориентированные потенциалы. Помимо периодических сигналов, в ответ на стимулы в коре мозга могут генерироваться как периодические колебания (как правило — с рассмотренными выше частотами), так и переходные процессы, среди которых выделяют два основных типа сигналов: *вызванный потенциал* (ВП) и *событийно ориентированный потенциал* (СОП). Первые связаны с рефлекторной реакцией на внешние раздражители (вспышки света и т.п.), а вторые — с необходимостью принятия решений. Поскольку форма волны как правило определяется типом стимула и областью коры, с которой снимают сигнал, термин *потенциал* обычно используют для соотнесения определенного комплекса условий с волной, которая им вызвана. При этом сам потенциал обозначают буквой и цифрой, означающими полярность и латентность в микросекундах (или сотнях мс).

Оказывается, что в отношении волновых форм потенциалы проявляют некую инвариантность к изменению стимулов и высокий уровень воспроизводимости [9], причем среди всех типов потенциалов значения латентности, так же как и частоты ритмов мозга, имеют тенденцию принимать дискретные значения, концентрирующиеся вокруг нескольких типовых периодов.

Однако точечные и интервальные оценки для этих периодов не столь точны, как для периодичес-

ких сигналов, поскольку параметры переходных процессов определяются на малых промежутках времени, где в большей мере проявляется зависимость от *артефактов* (помех, обусловленных электрическими сигналами от дрожания век и иных причин), а также от разброса физиологических особенностей субъектов и различий в стимулах. Тем не менее, несмотря на то, что в качестве точечных значений латентности для одного типа потенциала иногда рассматриваются разные значения, чаще всего — округленные до сотен мс, имеется обширная статистика, которая дает достаточно точные интервальные оценки для этих величин. Они и используются ниже при анализе распределений латентностей.

Кроме того, различные потенциалы (по типу стимула или нейронных популяций, с которых снимается сигнал) могут иметь близкие или совпадающие значения латентности. Поэтому близость значений латентности не означает, что они определяют один и тот же потенциал. В этом отношении выделение фундаментальных зависимостей, которые позволили бы более точно дискриминировать латентности и потенциалы, представляет актуальную задачу нейродинамики.

4.2. Потенциал P3 (или P300) с латентностью порядка $L_3 = 300$ мс, которая может изменяться в интервале $I_3 = [300, 600]$, считается важнейшим среди потенциалов, имеющих отношение к когнитивной активности мозга, поскольку является определяющим в реакциях мозга на стимулы, связанные с восприятием информации и принятием решений [8, 9]. Позже он был идентифицирован как *суперпозиция* двух близких потенциалов: «нового» $P3a$ и «классического» $P3b$. В качестве точечных оценок их периодов воспользуемся [9, 13] серединами $L_a = 265$ мс, $L_b = 360$ мс интервальных оценок: $I_a = [250, 280]$ и $I_{b,1} = [310, 380]$, $I_{b,2} = [250, 500]$.

Дополнительным свидетельством адекватности выбора этих оценок служит эмпирическое наблюдение, состоящее в том, что пик потенциала $P3a$ обычно предшествует пику потенциала $P3b$ на 75 — 100 мс.

При анализе реакций мозга на широкий класс когнитивных задач [8] потенциалу $P3$ (теперь — точнее сказать $P3b$) с периодом L_3 ставят в соответствие частоту

$$f_3 = 1 / L_3 \approx 3,3 \text{ (Гц)}, \quad (20)$$

которую аппроксимируют величиной $2 \cdot \Phi$ Гц с относительной погрешностью порядка $\delta_w \approx 0,02$ (или 2%), высказывая, как отмечено выше, предположение о том, что более точная аппроксимация не имеет смысла.

Проанализируем эту гипотезу. Вначале рассмотрим частоты, отвечающие потенциалам $P3a$ и $P3b$:

$$f_a = 1/0,265 = 3,7736 \approx 3,77 \text{ (Гц)}, \quad (21)$$

$$f_b = 1/0,360 = 2,77(7) \approx 2,78 \text{ (Гц)}. \quad (22)$$

В то же время, из соотношения (18) следует, что периоду $\gamma_{38} = 0,36105$ (с) соответствует частота

$$\eta_{38} = 2,76971 \approx 2,77 \text{ (Гц)}. \quad (23)$$

Следовательно, с точностью $\delta_{38} \approx 0,3\%$ частота f_b потенциала P3b совпадает с частотой η_{38} , определяемой членом γ_{38} ряда Г аурической шкалы времени.

При этом отношение частот f_a и f_b базовых потенциалов удовлетворяет аурическому соотношению $2 - \phi \approx 1,38$ с погрешностью порядка 1%

$$\frac{f_a}{f_b} = \frac{3,7736}{2,7778} \approx 1,36 \approx 2 - \phi \text{ (1\%)}. \quad (24)$$

Т.е. с этой точностью частоты, определяющие потенциал P3, связаны соотношением $f_a = (2 - \phi) f_b$ с тем же коэффициентом, что и в (17). Но здесь имеется гораздо еще более глубокая аурическая связь.

Поскольку период $L_3 = 300$ мс точно $\delta_3 = 0,4\%$ совпадает с точкой Золотого сечения (301 мс) интервала периодов $(L_a, L_b) = (265, 360)$, то все три периода: L_3 , L_a и L_b , как и соответствующие им частоты f_3 , f_a и f_b , связаны Золотым сечением (рис. 3).

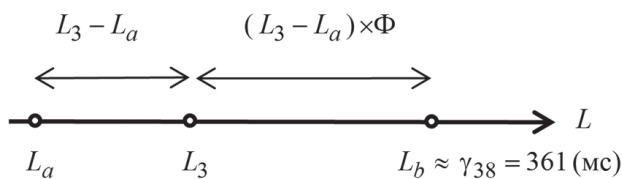


Рис. 3. Распределение периодов L_3 , L_a и L_b потенциалов P3, P3a и P3b по Золотому сечению

4.3. Аурические свойства латентности типовых потенциалов. Как следует из табл. 3, средние латентности типовых потенциалов также распределены по членам аурических рядов Г и G несмотря на то, что диапазоны наблюдаемых значений для них достаточно широки, а приводимые в литературе значения латентностей, как правило, даются в округлении до десятков или сотен мс. Средние значения латентностей в этой таблице брались как центры интервальных оценок [9, 13], поскольку их символические значения дают округление наблюдаемых значений до сотен или десятков мс. Отдельно указаны значения, для которых интервальные оценки отсутствуют, или значения которых достаточно точно отражены в обозначении (например, N170).

Имеются и иные важные корреляции. Например, установлено [12], что базовый период обработки информации (VIP), определяющий длительность обработки 1 бита, имеет физиологическую основу и представляет устойчивую характеристику общего уровня развития интеллекта. Для среднего

взрослого с IQ = 100 его значение составляет 1/15 с (VIP100 = 67 мс); соответственно для IQ = 78 и IQ = 122 оценки длительности равны VIP78 = 100 мс и VIP122 = 50 мс. Кроме того, для некоторых потенциалов установлены функциональные связи; например, потенциал N2 образует комплекс с N1 и P3b, а N1 — с P2. Также обращает на себя внимание, что границы интервалов латентности (50, 100) и (65, 90) для потенциала C1 совпадают с членами рядов Г и G со средней погрешностью порядка 4%. Однако, хотя значения для некоторых латентностей совпадают, они представляют различные потенциалы, т.е. комплексы условий, порождающие волны с подобными периодами.

Таблица 3

Распределение латентностей для типовых потенциалов

Члены рядов		Потенциал и оценки для его латентности			
Г (мс)	G(мс)	Тип	Среднее	Интервал	δ %
52,68		BIP122	50**		5 %
	65,11	BIP100	67**		2 %
85,23		P1	80	70 – 90***	6 %
	105,3	BIP78 N1 (N100) P1 (P100)	100** 100 105	80 – 120 80 – 130***	5 % 5 % 0,3 %
137,9					
	170,5	N170 Visual N1	170* 175	130 – 200 150 – 200	0,3 % 3 %
223,1		P2 (P200)	212	150 – 275	5 %
	275,8	N2 P3a	275 265	200 – 350 250 – 280	0,3 % 4 %
361,1		N400 P3b	375 360	250 – 500 310 – 380 и 250 – 500	4 % 0,3 %
	446,3				
584,2		P600	600*	500 – 600	3 %

*) Средние, взятые из определения потенциала.

**) В источнике [12] значения округлены.

***) Начальный и конечный интервалы проявления P1.

Таким образом, несмотря на достаточно широкие интервалы рассеяния латентностей относительно средних значений (в среднем – 25% относительно центра), сами средние достаточно точно (в среднем – с погрешностью от 0,3% , в 1/3 случаев, и 4%, в 2/3 случаев) совпадают с периодами основных рядов Г, G аурической шкалы. В частности – базовый период обработки информации, отражающий уровень развития интеллекта.

Поэтому можно предположить, что использование этих корреляций позволит более точно про-

изводить дискриминацию и уточнять значения средних подобно тому, как фундаментальный потенциал РЗ был разделен на два аурически связанных потенциала — Р3а и Р3б.

5. Объем памяти и натуральные гармоники фундаментальной частоты, определяемой АШВ

5.1. Объем памяти и частоты ЭЭГ. Вопрос об отображении волнами мозга обрабатываемой информации обсуждается с появлением ЭЭГ. В этом отношении соотношение психометрических данных со спектральной плотностью ЭЭГ представляет особый интерес [8]. Установлено, что наряду с аурическим распределением частот при выполнении арифметических задач наблюдаются и устойчивые соотношения частот с натуральными гармоникам (2, 3 и 4) относительно базовых частот [9]. Аналогичная ситуация также имеет место при концентрации внимания и в иных когнитивных задачах [8].

С тех пор как внимание стало представлять предмет научных исследований, психологи осознали, что объем памяти обладает количественным измерением в единицах максимального числа объектов, которые субъект может воспринимать одновременно. В настоящее время общепринято считать, что предел емкости краткосрочной памяти составляет семь плюс-минус две единицы [14]. Франк выдвинул утверждение, что когнитивная производительность должна быть ограничена производительностью канала краткосрочной памяти.

За последние десятилетия ряд авторов сообщает об обнаружении не только корреляций между объемом памяти и ментальной скоростью, но и с параметрами ЭЭГ [8]. Либерсон предположил [15], что все значимые каналы ЭЭГ могут быть натуральными гармониками $\nu_n = n \cdot F$ одной фундаментальной частоты F порядка 3,3 Гц. В соответствии с его эмпирическими данными (табл. 4, кол. 3) число этих гармоник равно девяти, как и максимум объема памяти. В этом число гармоник характеризует объем памяти, а числа от 1 до 9 можно рассматривать как кванты памяти, каждому из которых могут соответствовать различные элементарные объекты (цифры, знаки и т.п.). Полученные данные в дальнейшем были подтверждены [16], как и зависимости [17] для IQ и латентностей компонент ВП. Субъекты с более высоким IQ имеют не только больший объем памяти, но и более сложную форму волн ЭЭГ.

Иначе говоря, объему памяти, выраженному числом квантов n , который мозг способен запомнить, соответствует натуральная гармоника $\nu_n = n \cdot F$ фундаментальной частоты $F \approx 3,3$ Гц. Однако эмпирический анализ показывает, что фундаментальная частота Либерсона имеет меньшее значение и лежит в диапазоне от 3,1 до 3,3. Для этой час-

тоты в [8] предложена аппроксимация $F = 2 \cdot \Phi$ и сделано допущение, что метрику волн мозга всегда можно понимать как суперпозицию 9 натуральных гармоник f_n (табл.4, кол. 4) этой фундаментальной частоты, половина которой представляет число Золотого сечения как точку резонанса. В этом смысле кодирование информации мозгом представляется основанным на Золотом сечении, что позволяет обрабатывать информацию наиболее эффективным образом.

Таблица 4

Объем памяти соответственно номеру n гармоники ЭЭГ (1), эмпирическая частота гармоник ЭЭГ (3) и их связь с IQ (2), а также исходное (4) и предлагаемое (6) приближения фундаментальной частоты и их погрешности (5), (7)

Номер гармоник (объем памяти) n	IQ**	Частота гармоник ЭЭГ* ν_n (Гц)	Исходное приближение $2 \cdot \Phi \approx 3,24$		Предлагаемое приближение $\eta_{38} \approx 2,77$	
			$f_n = 2\Phi \times n$	$\Delta_n = f_n - f $	$f_n^* = \eta_{38} \times n$	$\Delta_n^* = f_n^* - f $
1	2	3	4	5	6	7
9	146	29	29,12	0,12	24,93	4,07
8	139	23	25,88	2,89	22,16	0,84
7	133	21	22,65	1,65	19,39	1,61
6	118	17	19,42	2,42	16,62	0,38
5	93	13	16,18	3,18	13,85	0,85
4	78	10	12,94	2,94	11,08	1,08
3	76	6,5	9,71	3,21	8,31	1,81
2	65	5	6,47	1,47	5,54	0,54
1	—	—	3,24	$\bar{\Delta} = 2,2$	2,77	$\bar{\Delta}^* = 1,4$

*) Экспериментальные данные из [15].

**) Экспериментальные данные приведены в [8].

Там же высказано предположение, что искать более точную аппроксимацию фундаментальной частоты нет смысла, тем более, что Гц — это искусственная единица, которая зависит от определения секунды, считая, что более точное значение может представлять интерес лишь с вычислительной точки зрения, но не имеет значения для нейродинамики. И это по-видимому было бы так, если бы не оказалось, что (1) именно частота из спектра аурической шкалы времени более точно приближает эмпирические данные и при этом (2) соотносит фундаментальную частоту с периодом, определяемым латентностью потенциала Р3б, которая, по последним данным, и соотносится с когнитивными процессами.

5.2. Аурическая природа фундаментальной частоты, определяющей объем памяти. Покажем, что значение частоты $\eta_{38} = 2,77$ (Гц), определяемое аурической шкалой, дает более точное и содержательное приближение фундаментальной частоты и гармоник, определяющих объем памяти, чем приближение $2 \cdot \Phi \approx 3,24$ (Гц), в котором число Φ связано

лишь с условной единицей измерения. Точное значение этой частоты получено следующим образом. Поскольку в ряду Γ длительность периода $\Phi^0 = 1$ равна тропическому году, то значение ϕ^{38} в секундах составляет

$$\phi^{38} (\text{лет}) = 365,24 \times 24 \times 60 \times 60 \times \phi^{38} (\text{с}) \approx 0,36105 (\text{с}),$$

а соответствующая ему частота равна

$$\eta_{38} = 1 / \phi^{38} (= \Phi^{38}) = 1 / 0,36105 = 2,7696... \approx 2,77 (\text{Гц}).$$

Принимая это значение за фундаментальную частоту, получаем гармоники $f_n^* = n \cdot \eta_{38}$ (табл. 4, кол. 6).

Оценим теперь точность, с которой гармоники f_n и f_n^* аппроксимируют наблюдаемые значения частот.

Дисперсии для приближений f_n , f_n^* соответственно равны $V_n = 6,02$, $V_n^* = 3,18$, с F -отношением $F = 1,9$. Однако последняя частота (29 Гц) существенно уходит от общего тренда; кроме того, ее практическая значимость также минимальна. Поэтому если мы рассчитаем дисперсию без этого значения, то получим $V_n' = 6,88$, $V_n'^* = 1,27$, со значимым F -отношением $F' = 5,41$ (при критическом значении 3,8 на уровне значимости 5%). Это означает, что дисперсия для приближения $F = \eta_{38}$ не только меньше, но и статистически значимо меньше, чем дисперсия для приближения $F = 2\Phi$.

Исходя из того, что наблюдаемые частоты являются натуральными гармониками фундаментальной частоты F , наилучшей оценкой для нее является коэффициент линейной регрессии для этих наблюдений. Его значение составляет $b = 2,92$ для всех наблюдений, и $b' = 2,796$ без последнего (29 Гц). С этой точки зрения приближение $\eta_{38} = 2,77$ дает вдвое меньшую погрешность при рассмотрении всех наблюдений

$$|2\Phi - b| / b \approx 11\% \quad \text{и} \quad |\eta_{38} - b| / b \approx 5\%,$$

и на порядок меньшую — без последнего значения

$$|2\Phi - b'| / b' \approx 16\% \quad \text{и} \quad |\eta_{38} - b'| / b' \approx 1\%.$$

Не только сравнение абсолютных средних отклонений $\bar{\Delta}$ и $\bar{\Delta}^*$ (табл.4), но и визуальный анализ распределений частот f_n , f_n^* дает дополнительные свидетельства в пользу адекватности приближения $\eta_{38} = 2,77$. Как видно из рис. 4, линия регрессии, построенная по эмпирическим данным, проходит точно по значениям f_n^* , в то время как значения f_n имеют совершенно иной тренд.

Кроме того, в отличие от 2Φ Гц, частота $\eta_{38} = 2,77$ не возникает как одна из множества равнозначных численных аппроксимаций фундаментальной частоты F : она не только порождается аурической шкалой, но и представляет латентность для ключевого потенциала РЗб, определяющего когнитивные реакции.

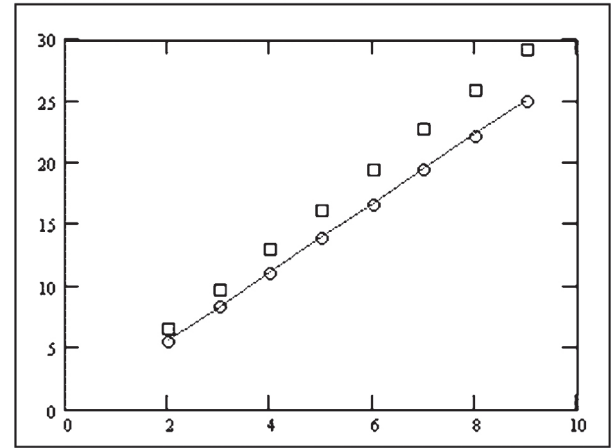


Рис. 4. Линейная регрессия (частота от номера гармоники) для наблюдаемых значений и частоты f_n (□) и f_n^* (○)

Заметим также, что отсутствие точного совпадения гармоник f_n^* с наблюдаемыми значениями может быть обусловлено не только артефактами, но и тем, что различные стимулы (лица, цифры, слова и др.) могут вызывать различные потенциалы (точнее — латентности), тем самым зашумляя данные. Вместе с тем, корректность выводов подтверждается тем, что точность идентификации фундаментальной частоты соответствует точности параметров аурической шкалы времени.

Итак, хотя число $\eta_{38} = 2,77$ Гц не напоминает Золотого сечения, его использование в качестве фундаментальной частоты для данных Либерсона:

- дает *существенно более точное* соответствие с экспериментальными данными, чем значение $2 \cdot \Phi$, и в пределах точности исходных данных совпадает со значением фундаментальной частоты по регрессионной модели, и в этом смысле — *не улучшаемо*;

- *совпадает* со значением *основной частоты потенциала РЗб*, соотносимого с реакцией на когнитивные задачи. В свою очередь, эмпирическое распределение гармоник, определяющих краткосрочный объем памяти, которое определяется значением частоты, практически совпадающим с оценкой для f_b потенциала РЗб, дает дополнительные свидетельства в пользу адекватности последней и ее аурической природы;

- *определяется всеобщей шкалой фундаментальных периодов природы и общества*, связывая ритмы мозга с иными процессами, протекающими в ноосфере;

- приведенные выше проявления аурических частот в ритмах мозга и потенциалах свидетельствуют против гипотезы Либерсона о том, что все частоты мозга являются гармониками одной фундаментальной частоты, кроме как в отношении квантов объема памяти;

- вследствие того, что частота $\eta_{38} = 2,77$ Гц принадлежит всеобщей шкале времени и на порядок более точно приближает фундаментальную час-

тоту, гармоника которой соответствуют квантам объема памяти, можно считать *несостоятельными* предположения [8] о *нецелесообразности* поиска более точного (чем $2 \cdot \Phi$) приближения для фундаментальной частоты и об *отсутствии* его научной значимости;

— вместе с тем, мнение [8] о том, что число Золотого сечения Φ как S фундаментальной частоты $2 \cdot \Phi$, представляет точку резонанса, в свете установленных корреляций предстает в более фундаментальном виде, так как всякий член γ_i ряда G представляет такую точку для члена $2 \cdot \gamma_i$ ряда G , причем в условиях, когда оба эти ряда проявлены в важнейших частотах волн мозга.

6. Частотные взаимодействия нейронных популяций

Частотные взаимодействия — это явление, при котором нейронная активность на одной частоте сопровождается возникновением активности на другой частоте. Поэтому ритмы мозга лишь условно можно считать независимыми. В частности, наблюдаются устойчивые эффекты, связанные с уменьшением частоты вторичных осцилляций. При этом волны могут порождать осцилляции на иных частотах (трансформация), а также взаимодействовать между собой (конкатенация) [9], причем по законам, отражающим не столько традиционную концепцию гармонических колебаний, сколько алгебраические свойства аурических рядов.

Трансформация частоты [9] — это явление, при котором популяция нейронов изменяет модальную частоту или вызывает осцилляции другой популяции из-за изменений в ней самой или воздействия стимула. Эффект проявляется в увеличении периода вторичных колебаний в p раз, где p — натуральное число или целая степень числа Φ ; в первом случае будем говорить о натуральной гармонике, а во втором — о Φ -гармонике. Пример первой ситуации дает «удвоения периодов» [9], приводящее к появлению натуральной субгармоники.

Во втором случае колебания с частотами из одного диапазона порождают колебания в диапазоне меньших частот. Поскольку частоты этих диапазонов распределены по значениям аурического ряда, происходит генерация Φ -гармоник с частотой, отличающейся от порождающей частоты в Φ^k раз, где k — целое.

Примером служит гамма-бета сдвиг, при котором осцилляции в γ -диапазоне порождают колебания в β -диапазоне, которые замещают или сочетаются с исходными гамма ритмами. При этом отмечается [18], что гамма и бета ритмы не являются артефактами гармоник альфа ритмов, как это ранее предполагалось, а колебания в диапазоне β_1 следует рассматривать как *субгармонику* продолжающегося гамма-ритма, которая генерируется пирамидальны-

ми нейронами, а не возникает вследствие уменьшение частоты гамма-ритма. При этом β_1 -ритм проявляет гораздо более значимо, чем β_2 , а сам гамма-бета сдвиг сопровождается активностью и в α -диапазоне с латентностью несколько более 100 мс.

Таким образом, не только трансформация частот в гамма-бета-альфа сдвиге следует значениям аурической шкалы, но и проявленная при этом латентность.

Конкатенация периодов — это явление, при котором взаимодействие двух популяций нейронов, осциллирующих на разных частотах, приводит к осцилляциям с периодом, равным *сумме периодов исходных колебаний*.

Например, генерация в неокортексе частот γ_1 (40 Гц) и β_2 (24,5 Гц) порождает один ритм с частотой β_1 (15 Гц) [9]; в этом случае для эмпирических оценок периодов получаем: $1/40 + 1/24,5 \approx 1/15$. Но если бы типовые частоты в соответствии с их распределением по значениям аурического ряда (табл. 2) были заданы точно, то, в соответствии с характеристическими свойствами (11), (12) аурических рядов, значения их периодов также должны были бы удовлетворять равенству $\gamma_{i+2} + \gamma_{i+1} = \gamma_i$ (рост индекса соответствует увеличению периода) точно, как и соотношению для частот $1/\gamma_i + 1/\gamma_{i+1} = 1/\gamma_{i+2}$. Таким образом, несмотря на то, что эти частоты получены усреднением и округлены до целых, точность выполнения равенств (11), (12) весьма высока, так как погрешность составляет всего 1%.

В свою очередь, β_1 - и β_2 -ритмы могут объединяться, образуя α -ритм, и т.д. [9].

Таким образом, не только значения основных периодов и их Φ -гармоник, с которыми осциллируют популяции нейронов, совпадают со значениями членов аурической шкалы времени, но и механизм взаимодействия генерирующих их популяций нейронов описывается алгеброй (11), (12), которая имеет место только для аурических рядов. При этом натуральные гармоника хотя и возникают, но играют вспомогательную роль в рамках эффектов, определяемых базовыми частотами, распределенными по значениям аурических рядов.

Выводы

Опираясь на частные выводы, представленные в разделах, можно подвести следующий итог.

1. Все основные волны ритмов мозга — как периодических осцилляций, так и процессов, определяющих реакцию на внешние воздействия, имеют периоды, которые распределены по соответствующему диапазону значений степенных рядов Золотого сечения $\Gamma = \{\Phi^k\}_{k=-\infty, \infty}$ и $G = \{2 \cdot \Phi^k\}_{k=-\infty, \infty}$, образующих ядро аурической шкалы времени, причем с точностью, соответствующей точности исходных данных.

Это означает, что периоды процессов, описывающих электрическую активность популяций нейронов, синхронизированы с описываемыми этой шкалой базовыми периодами значительного числа явлений в природе и обществе в диапазоне от средней длительности цикла солнечной активности, периодов обращения планет и геологических циклов до экономических циклов и объектов живой природы.

2. В отличие от традиционно рассматриваемых в гармоническом анализе взаимодействий на натуральных гармониках, на всем спектре базовых частот, присущих ритмам мозга, доминируют *трансформация*, при которой вторичные осцилляции определяются Φ -гармониками — множителями, равными целым степеням Золотого сечения, и *конкатенация*, состоящая в возбуждении низкочастотного колебания двумя высокочастотными осцилляциями, период которого равен сумме периодов исходных осцилляций (симметричное равенство выполняется и для частот). Причем эти преобразования частот следуют алгебраическим свойствам, которые присущи лишь бесконечным в обе стороны степенным рядам Золотого сечения.

Это означает, что хотя натуральные гармоники базовых периодов и возникают в ритмах мозга, сами эти гармоники имеют «вторичное» значение, как и принципы гармонического анализа, поскольку все базовые частоты электрических колебаний популяций нейронов коры головного мозга и механизм их взаимодействия определяются конечной последовательностью членов аурических рядов (численно) и только им присущими свойствами (алгебраически).

3. Поэтому, понимая резонанс как возникновение вынужденных колебаний, приходим к тому, что доминирующим типом резонансов, которые возникают в осцилляциях нейронов, играют именно аурические резонансы, возникающие на Φ -гармониках. При этом ряды Γ и G играют определяющую роль и в том, что образуют шкалу резонансов, поскольку члены первого из них (Φ^k) представляют точку резонанса для соответствующего ($2\Phi^k$) члена второго ряда.

В этом отношении законы, по которым функционируют нейронные сети, дают еще один пример того, что аурические резонансы представляют объективную сторону явлений природы, которые не сводятся к принципам гармонического анализа, а также еще одно подтверждение всеобщности аурической шкалы времени в отношении соотношения базовых периодов в природе и обществе.

4. Хотя причины и механизмы, по которым нейронные сети осциллируют с базовыми частотами, распределенными по значениям аурической шкалы времени, и преобразуют их по законам, свойственным этой шкале, остаются неизвестными, ряд

следствий из этого положения имеет весьма ясную интерпретацию с точки зрения обеспечения помехозащищенности и устойчивости генерируемых сигналов и порождаемых ими натуральных гармоник подобно тому, как аурическое соотношение периодов планетарных обращений служит основой для их устойчивости.

5. Установление численного и алгебраического соответствия между аурической шкалой времени и системой дискретных частот базовых ритмов мозга и механизма их взаимодействия открывает путь для более адекватного решения теоретических проблем и практических задач в нейродинамике, нейрокибернетике и других областях — при обработке экспериментальных данных, построении когнитивных моделей и разработке технических устройств, основанных на использовании ритмов мозга. В частности, с учетом известных предложений об использовании свойств рядов Фибоначчи для организации вычислений эта модель может оказаться полезной при создании мозговых интерфейсов и при обработке сенсорной информации в широком диапазоне временных и пространственных шкал.

Список литературы: 1. Циклы природы и общества: материалы IV междунар. конф., 17 — 18 октября 1998г. Ставрополь / редкол.: В.Д. Чурсин (гл. ред.) Ю.Н. Соколов и др. — Ставрополь: Ставропольский ун-т, 1998. — 704 с. 2. *Landscheidt T.* The Cosmic Function of the Golden Section / T. Landscheidt // Kosmos. — 1995. — № 4. — P. 29—44. 3. *Smelyakov S.* The Golden Section in Synchronism of Solar Activity Cycles and Planetary Revolutions / S. Smelyakov. — Kharkov: UkrSib ABC, 1997. — 80 p. 4. *Смеляков, С.В.* Аурическая шкала периодов/времени и ее верификация на феноменах естественного и исторического характера [Текст] / С.В. Смеляков, Ю.Б. Карпенко // Радиоэлектроника и информатика. — 1999. — № 1. — С. 127 — 135; № 2. — С. 128—134; № 3. — С. 104 — 115. 5. *Smelyakov S.V.* Golden section and solar cycles in natural phenomena and bionics / S. V. Smelyakov // Bionica Intellecta. — 2005. — No. 2 (63). — P. 27— 40. 6. *Смеляков, С.В.* Время как мера длительности движения [Электронный ресурс] / MirKnig.Com. — Режим доступа: [www/URL: http://astrotheos.com/Downloads/TR.zip](http://www.astrotheos.com/Downloads/TR.zip) — 22.02.2011 г. — Загл. с экрана. 7. *Smelyakov S.V.* ATS as algebraic structure of the basic periods in Nature and society [Электронный ресурс] / Astrotheos. — Режим доступа: [www/URL: http://astrotheos.com/Downloads/Part2.zip](http://www.astrotheos.com/Downloads/Part2.zip) — 22.02.2011 г. — Загл. с экрана. 8. *Weiss H., Weiss V.* The golden mean as clock cycle of brain waves // Chaos, Solitons and Fractals. — 2003. — No. 4. — P. 643–652. (online version: www.v-weiss.de/chaos.html — 22.02.2011 г. — Загл. с экрана). 9. *Whittington M. A.* Temporal Interactions between Cortical Rhythms / A.K. Roopun, M.A. Kramer, L.M. Carracedo, M. A Whittington et al. // Frontiers in Neuroscience — 2008. — v.2. — Dec 2(2). Режим доступа: [www/URL: www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2622758/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2622758/) — 22.02.2011 г. — Загл. с экрана. 10. *Niroma T.* Sunspot cycles and supercycles and their tentative causes [Электронный ресурс] / Tokyo, Japan. — Режим доступа: [www/URL: http://personal.inet.fi/tiede/](http://personal.inet.fi/tiede/)

tilmari/ — 22.02.2011 г. — Загл. с экрана. **11.** Landscheidt T. Sun-Earth-Man: a Mesh of Cosmic Oscillations / T. Landscheidt. — London: Urania Trust, 1989. — 112 p. **12.** Lehl S. A basic information psychological parameter (BIP) for the reconstruction of concepts of intelligence / S. Lehl and B. Fischer // European Journal of Personality — 1990. — N.4 — p.259-286. (online version: www.v-weiss.de/lehl.html). **13.** Вызванный потенциал [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [www/URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Evoked_potential) — 22.02.2011 г. — Загл. с экрана. **14.** Miller G.A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information / G.A. Miller // Psychological Review. — 1956. — 63. — P.81 — 97. **15.** Liberson W.T. The electrophysiology of intellectual functions (by Giannitrapani D.) / W.T. Liberson // Basel: Karger. — 1985. — P. 153 — 176. **16.** Bennett E.R. The Fourier transform of evoked responses. Nature, 1974; 239:407-408. **17.** Ertl J.P. Brain response correlate of psychometric intelligence / J.P. Ertl, E.W.P. Schafer // Nature, 1969. — v. 223. — P.421 — 422. **18.** Haenschel C. Gamma and beta frequency oscillations in response to novel auditory stimuli: A comparison of human electroencephalogram (EEG) data with in vitro models / C. Haenschel, T. Baldeweg, R.J. Croft, M. Whittington, J. Gruzelier // Proc Natl. Acad. Sci. USA. — 2000. — vol. 97(13). — P.7645 — 7650. (online version: www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10852953).

Поступила в редколлегию 24.01.2011.

УДК 004.89+612.82

Ступеневі ряди золотого перетину у моделях нейродинаміки / С.В. Смеляков // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 21–34.

Показано, що періоди ритмів мозку розподілені по ступеневим рядам золотого перетину з природною оди-

ницею часу, а їх взаємодія за гармоніками визначається не цілими числами, а золотим перетином відповідно до алгебраїчних властивостей цих рядів. У цьому періоді коливань нейронів відповідають тій же дискретній шкалі, яка визначає значну частину базових періодів у природі та суспільстві. Застосування встановленої чисельної та алгебраїчної відповідностей між аурічною шкалою та системою дискретних частот базових ритмів мозку і механізму їх взаємодії відкриває шлях для більш адекватного вирішення теоретичних проблем та практичних задач у нейродинаміці та нейрокібернетиці, зокрема — при створенні мозкового інтерфейсу і обробці сенсорної інформації.

Табл. 4. Л. 4. Бібліогр.: 18 найм.

UDC 004.89+612.82

Golden section power series in neurodynamic models / S.V. Smelyakov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 21–34.

It is shown that the brain wave periods are distributed over the Golden section power series supplied with a natural unit of time whereas their interactions are described by algebraic properties of these series, not by the natural harmonics. This gives rise to resonances at the frequencies presenting integer multiples of the Golden section. This way, the neuron oscillations follow the values of the same scale that defines the most part of the basic periods in nature and society. Making use of the established numerical and algebraic correlation between the auric time scale and the system of discrete frequencies of the basic brain rhythms and mechanisms of their interactions clears the way for more adequate solving of theoretical and practical problems in neurodynamics and neurocybernetics; in particular — for creating a brain interface and processing a sensory data.

Fig. 4. Tab. 4. Ref.: 18 items.

УДК 519.6:004.93



МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ

Е. А. Гофман¹, А. А. Олейник², С. А. Субботин³

¹ Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, gofman_jenek@rambler.ru;

² Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, olejnikaa@gmail.com;

³ Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, subbotin@zntu.edu.ua

Исследуется поиск с использованием деревьев решений. Предложен мультиагентный подход для решения задачи идентификации деревьев решений. Разработан мультиагентный метод построения деревьев принятия решений с непрямой связью между агентами, позволяющий избежать избыточного расширения дерева.

ДЕРЕВЬЯ РЕШЕНИЙ, ДЕРЕВЬЯ КЛАССИФИКАЦИИ, CART, МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОИСК С НЕПРЯМОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ АГЕНТАМИ, КОЛЛЕКТИВНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Введение

При решении прикладных задач в различных областях промышленности, геологии, веб-технологий необходимо решать задачи классификации и прогнозирования. В связи с этим разработано множество методов, позволяющих так или иначе решать данные проблемы. К таким методам относятся методы регрессионного анализа, нейронные сети, нечёткое, нейро-нечёткое моделирование и другие [1, 2]. Однако данные подходы обычно ориентированы на решение либо задачи классификации, либо задачи регрессионного анализа. Часто в практических задачах удобно обладать инструментом, который может быть легко использован как для классификации, так и для прогнозирования. Таким инструментом являются деревья решений [3, 4]. Существуют различные методы идентификации деревьев решений (ID3, CART, CHAID, QUEST, C5.0). Однако большинство из них обладает определёнными недостатками, связанными с большой вычислительной сложностью, проблемами формирования дерева решений (рост дерева, отсечение части дерева) и т.п. [3–6].

В связи с этим актуальной является разработка новых методов синтеза деревьев решений, свободных от недостатков существующих. Одним из новых направлений искусственного интеллекта являются мультиагентные методы с непрямой связью между агентами, позволяющие решать различные оптимизационные задачи [7–12]. Такие методы являются особенно эффективными при решении задач дискретной оптимизации, поэтому в данной статье предлагается применить мультиагентный подход с непрямой связью между агентами для решения задачи идентификации деревьев решений.

Таким образом, целью авторов данной статьи является разработка мультиагентного метода с непрямой связью между агентами для синтеза деревьев решений.

Основными задачами работы являются:

- исследование основных принципов работы деревьев решений;
- анализ мультиагентного метода с непрямой связью между агентами;
- разработка мультиагентного метода идентификации деревьев решений;
- разработка программного обеспечения, реализующего предложенный мультиагентный метод.

1. Постановка задачи

Пусть задана обучающая выборка данных, состоящая из N экземпляров, каждый из которых характеризуется P атрибутами. При этом каждый атрибут может относиться к определённому лингвистическому терму T . Для каждого i -го экземпляра указаны вхождения к лингвистическим термам для каждого атрибута и указан лингвистический терм выходной переменной. Тогда необходимо построить такое дерево решений, которое позволяет выполнять отнесение выходного параметра к лингвистическому терму с заданной точностью:

$$Q^* \geq Q_{threshold},$$

где Q^* – точность прогнозирования по синтезированному дереву решений; $Q_{threshold}$ – приемлемая точность прогнозирования.

2. Деревья решений

Деревья решений представляют собой нисходящую систему, основанную на подходе “разделяй и властвуй”, основной целью которой является разделение дерева на взаимно непересекающиеся подмножества [3, 5]. Каждое подмножество представляет собой подзадачу классификации.

Дерево решений описывает процедуру принятия решения о принадлежности определённого экземпляра к тому или иному классу.

Дерево решений является древовидной структурой, состоящей из внутренних и внешних узлов,

связанных рёбрами [6]. Внутренние узлы — модули, принимающие решение, — рассчитывают значение функции решения, на основании чего определяют дочерний узел, который будет посещён далее. Внешние узлы (также называемые конечными узлами), напротив, не имеют дочерних узлов и описывают либо метку класса, либо значение, характеризующее входные данные. В общем случае, деревья решений используются следующим образом. Вначале передаются данные (обычно это вектор значений входных переменных) на корневой узел дерева решений. В зависимости от полученного значения функции решения, используемой во внутреннем узле, происходит переход к одному из дочерних узлов. Такие переходы продолжаются до тех пор, пока не будет посещён конечный узел, описывающий либо метку класса, либо значение, связанное со входным вектором значений признаков.

3. Мультиагентный поиск с непрямой связью между агентами

Мультиагентный метод с непрямой связью между агентами является мультиагентным эвристическим итеративным методом случайного поиска [7, 11, 14]. Поведение агентов моделируется как процесс перемещения и исследования пространства поиска. Особенностью моделируемого перемещения является моделирование выделения феромонов, которые агенты оставляют на пути в процессе своего перемещения. Феромоны в процессе работы испаряются. Таким образом, на наилучшем пути остаётся большее количество феромонов, так как добавление феромонов происходит чаще, чем испарение. А поскольку выбор пути для перемещения агентов основывается на информации о количестве феромонов, то агенты выбирают лучший путь. Обобщённая схема работы мультиагентного метода с непрямой связью между агентами представлена на рис. 1.

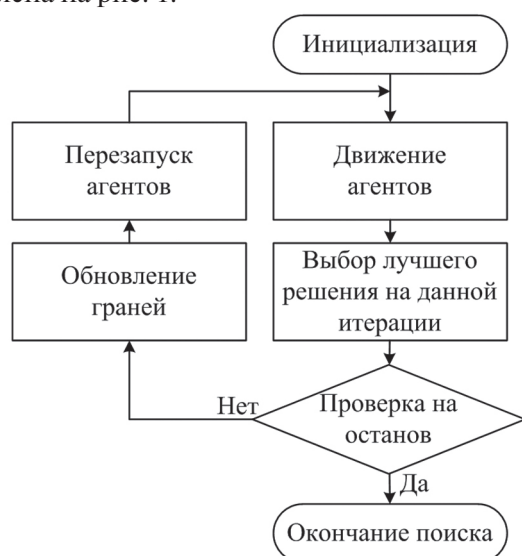


Рис. 1. Обобщённая схема работы мультиагентного метода с непрямой связью между агентами

На этапе инициализации задаются параметры метода, влияющие на его работу. Далее происходит передвижение агентов между узлами графа, в результате чего, после окончания передвижения каждого агента, формируются решения, из которых выбирается лучшее на данной итерации. Далее выполняется проверка на окончание работы метода (критерием окончания работы может быть заданное количество итераций или некоторый критерий для выбранного решения). После чего, если проверка была выполнена успешно, происходит окончание поиска, в процессе которого выбирается самое лучшее решение из всех, что встречались на пройденных итерациях. Если же проверка была unsuccessful, то производится обновление граней, которое заключается в имитации испарения феромонов, и перезапуск агентов.

Основываясь на принципах мультиагентного метода, его разновидностях и областях применения [13–15] можно выделить следующие преимущества и недостатки.

К преимуществам метода можно отнести то, что:

- он может использоваться в динамических приложениях (агенты адаптируются к изменениям окружающей среды);
- в процессе поиска метод использует память всей колонии, что достигается за счёт моделирования выделения феромонов;
- сходимость метода к оптимальному решению гарантируется;
- стохастичность оптимизационного процесса, то есть случайность поиска, за счёт чего исключается возможность закликивания в локальном оптимуме;
- мультиагентность метода;
- возможность применения к решению различных задач оптимизации.

Можно выделить следующие недостатки метода:

- теоретический анализ затруднён, поскольку итоговое решение формируется в результате последовательности случайных решений; распределение вероятностей меняется при итерациях; исследования являются больше экспериментальными, чем теоретическими;
- сходимость гарантируется, но время сходимости не определено;
- высокая итеративность метода;
- результат работы метода достаточно сильно зависит от начальных параметров поиска, которые подбираются экспериментально.

Таким образом, можно отметить, что рассматриваемый мультиагентный метод с непрямой связью может эффективно решать задачи преимущественно дискретной оптимизации, которые могут быть согласованы со следующими требованиями:

– соответствующее представление задачи – задача должна быть описана в виде графа с набором узлов и граней между узлами;

– эвристическая пригодность элементов графа, на основе которых формируется решение – возможность применения эвристической меры адекватности отдельных элементов в графе поиска;

– составление альтернативных решений, посредством чего можно рационально определять допустимые решения;

– правило обновления феромонов – правило, которое определяет вероятность перемещения агента из одного узла графа к другому.

4. Мультиагентный метод построения деревьев решений

Для выполнения идентификации деревьев решений с использованием мультиагентного подхода с непрямой связью между агентами следует преобразовать основные этапы метода в соответствии с особенностями решаемой задачи.

Далее приводятся основные изменения в этапах мультиагентного метода.

1. Инициализация. На данном этапе в мультиагентном методе создаётся граф поиска, устанавливаются параметры работы метода, а также рассчитываются эвристические меры важности узлов графа. Для решения задачи построения деревьев решения граф поиска будет состоять из узлов, представляющих отдельные лингвистические термы, к которым могут относиться лингвистические переменные. При этом для каждого лингвистического терма выходной лингвистической переменной создаётся отдельный граф поиска, для которого рассчитываются отдельные матрицы эвристических значимостей и феромонов. В связи с этим поиск на каждом графе поиска выполняется отдельным множеством агентов. Такой подход вызван тем, что при решении задачи идентификации деревьев решений важность лингвистических термов зависит от лингвистических термов выходной переменной, а также имеет значение порядок посещения узлов агентами.

2. Передвижение агентов. При передвижении агенты принимают решение, в какой узел переместиться, таким образом, формируются отдельные деревья решений для каждого лингвистического терма выходной лингвистической переменной. Для такого решения предлагается применять правило случайного выбора, базирующееся на эвристических мерах важности и мере приоритетности, основанной на моделировании выделения феромонов в процессе передвижения. Решение о завершении перемещения отдельного агента следует принимать, исходя из того, насколько хорошо построенное дерево решений выделяет соответствующие классы экземпляров исходной обучающей выборки.

3. Изменение степени значимости узлов. При решении задачи синтеза деревьев решений в качестве меры приоритетности необходимо использовать качество покрытия отдельного дерева экземпляров соответствующего класса. Кроме того, предлагается использовать элитную стратегию, что позволит обеспечить более быструю сходимость к итоговому решению.

4. Обновление феромонов. Процедура обновления феромонов не имеет существенных особенностей для решаемой задачи, поэтому её можно применять в традиционном виде.

Исходя из выделенных особенностей, которыми должен обладать предлагаемый мультиагентный метод идентификации деревьев решений, был разработан метод синтеза деревьев решений с непрямой связью между агентами, который представлен в виде последовательности шагов 1–18.

Шаг 1. Инициализация. Задаются статические параметры работы метода: коэффициенты α, β, ρ . Для каждого из возможных лингвистических термов выходных значений создаётся свой граф поиска, представляющий собой лингвистические термы, которые могут быть включены в дерево решений, и соответственно своё отдельное множество агентов. Также важной особенностью разрабатываемого метода является то, что создаются узлы, характеризующие инверсные лингвистические термы, то есть это необходимо для случая, когда в дереве решений выбирается вариант, что условие в узле не сработало. Кроме того, для каждого графа поиска рассчитываются эвристические значения значимости отдельного терма для соответствующего лингвистического терма выходной переменной:

$$\eta_p^q = \frac{\sum_{o=1}^N \min(\mu_p(o), \mu_q(o))}{\sum_{o=1}^N \mu_q(o)}, \forall p = \overline{1, T}, q = \overline{1, K},$$

где η_p^q – значение эвристической значимости лингвистического терма p для описания класса q ; o – экземпляр входной выборки, содержащей N экземпляров; $\mu_p(o), \mu_q(o)$ – значение функции принадлежности объекта o терму p и классу q соответственно; T – количество лингвистических термов для входных переменных; K – количество лингвистических термов выходной переменной.

В каждом пространстве поиска каждому узлу графа поиска ставится в соответствие начальное значение количества феромонов τ_{init} :

$$\tau_p^q(1) = \tau_{init}, \forall p = \overline{1, T}, q = \overline{1, K},$$

где $\tau_p^q(1)$ – значение количества феромонов для p -го терма в пространстве поиска для q -го класса на первой итерации поиска.

Шаг 2. Установить: $t = 1$.

Шаг 3. Установить: $i = 1$.

Шаг 4. Установить: $j = 1$.

Шаг 5. Установить: $k = 1$.

Шаг 6. Выбор термина для добавления в правило j -го агента в графе поиска i -го лингвистического термина выходной переменной.

Шаг 6.1. Для j -го агента на основе случайного правила выбора рассчитывается вероятность включения k -го лингвистического термина в правило, описывающее i -ый лингвистический терм выходной переменной:

$$P_k^{i,j} = \frac{\eta_k^i \cdot \tau_k^j(t)}{\sum_{p \in R^j} \eta_p^i \cdot \tau_p^j(t)},$$

где $P_k^{i,j}$ — вероятность добавления k -го термина в дерево решений j -го агента в графе поиска для i -го класса; R^j — множество термов, которые могут быть добавлены в дерево решений j -го агента. Поскольку добавление определённого лингвистического термина означает, что дерево решений перешло на следующий уровень и уже анализируется другая входная переменная, то кроме выбранного термина исключаются и все термы, описывающие данную входную переменную.

Шаг 6.2. Проверить условие:

$$P_k^{i,j} > rand(1),$$

где $rand(1)$ — случайное число из интервала $[0; 1]$.

Если условие выполняется, тогда лингвистический терм k добавляется в дерево решений j -го агента, удаляются термы, связанные с соответствующей входной переменной, из множества возможных термов для данного агента и выполняется переход к шагу 7. В противном случае — переход к шагу 6.3.

Шаг 6.3. Установить $k = k + 1$.

Шаг 6.4. Если были рассмотрены все термы, то установить: $k = 1$. Выполнить переход к шагу 6.1.

Шаг 7. Проверка завершения перемещения j -го агента.

Шаг 7.1. Если множество термов, которые j -ый агент может добавить в формируемое правило, пусто, то выполняется переход к шагу 8.

Шаг 7.2. Определяется, сколько экземпляров i -го класса покрывает дерево решений j -го агента.

Для всех экземпляров, относящихся к классу i , рассчитывается значение выходной переменной в соответствии с деревом решений j -го агента, и на основании получаемых данных увеличивается счётчик $cntMatch$, в котором хранится количество экземпляров, покрываемых полученным деревом решений.

Шаг 7.3. Проверить условие:

$$cntMatch \geq inCntMatchMin_i,$$

где $inCntMatchMin_i$ — предельное минимальное количество экземпляров i -го класса, которое должно определяться деревом решений.

Если указанное условие выполняется, то считается, что дерево решений идентифицирует необходимое количество экземпляров, и j -ый агент завершил своё перемещение, после чего выполняется переход к шагу 8. В противном случае — выполняется переход к шагу 5.

Шаг 8. Если $j < cntAgents$, то установить: $j = j + 1$ и выполнить переход к шагу 5. В противном случае — переход к шагу 9.

Шаг 9. Если $i < k$, то установить: $i = i + 1$ и выполнить переход к шагу 4. В противном случае — переход к шагу 10.

Шаг 10. Случайным образом формируются деревья решений путём всевозможных наложений полученных агентами решений. При этом совмещаются такие деревья решений, которые выполняют отбор для одинаковых лингвистических термов выходной переменной и с одинаковым корнем:

$$p_1^{q,i} = p_1^{q,j}, i \neq j,$$

где $p_1^{q,i}$ и $p_1^{q,j}$ — корневые узлы деревьев решений i -го и j -го агентов, которые используются для прогнозирования q -го класса экземпляров.

Шаг 11. Оценка качества сформированных деревьев решений. Для оценки качества деревьев решений используется входная обучающая выборка, для каждого экземпляра которой определяется класс по соответствующему дереву решений. Основываясь на данных о классе экземпляров, полученных при помощи дерева решений, и классе экземпляров, исходя из заданной обучающей выборки, рассчитывают оценку качества дерева решений:

$$Q = \frac{cntMatch}{N},$$

где $cntMatch$ — количество экземпляров, для которых класс был определён верно с помощью заданного дерева решений; Q — качество прогнозирования класса экземпляров на основе соответствующей базы правил.

Шаг 12. Проверить условие:

$$Q_{high} \geq Q_{threshold},$$

где Q_{high} — качество прогнозирования дерева решений, которое характеризуется наилучшей точностью прогнозирования; $Q_{threshold}$ — приемлемое качество прогнозирования.

Если указанное условие выполняется, то производится переход к шагу 17, в противном случае — переход к шагу 13.

Шаг 13. Добавление феромонов. Добавление феромонов выполняется с целью повышения приоритетности тех термов, включение которых в дерево решений способствует повышению качества прогнозирования результирующих деревьев решений. В связи с этим количество добавляемого коэффициента приоритетности прямо пропорционально качеству прогнозирования дерева реше-

ний, в которое входит заданный лингвистический терм. При этом добавление феромонов предлагается выполнять только для тех термов, которые входят в деревья решений, для которых выполняется условие:

$$Q_{DT} \geq \delta \cdot Q_{high},$$

где δ — коэффициент, определяющий, насколько близко качество прогнозирования дерева решений DT должно приближаться к лучшему качеству прогнозирования Q_{high} , чтобы можно было применять процедуру добавления феромонов для узлов, входящих в данное дерево решений DT .

Таким образом, добавление феромонов выполняется для каждого терма, входящего в дерево решений DT :

$$\tau_p^q(t) = \tau_p^q(t) + Q_{DT} \cdot \tau_p^q(t), \forall p \in R, \forall R \subset DT,$$

где $\tau_p^q(t)$ — количество феромонов для терма p в графе поиска для класса q , который определяется с помощью соответствующего дерева решений.

Шаг 14. Испарение феромонов. Для исключения худших термов, то есть таких, которые, при включении их в деревья решений, понижают качество прогнозирования с помощью соответствующего дерева решений, применяют процедуру испарения феромонов, которая выполняется в конце каждой итерации и применяется для всех узлов во всех графах поиска.

Испарение феромонов выполняется в соответствии с формулой:

$$\tau_p^q(t+1) = \rho \cdot \tau_p^q(t), \forall p = \overline{1, T}, q = \overline{1, K},$$

где ρ — коэффициент испарения, который задаётся при инициализации.

Шаг 15. Если $t < t_{\max}$, установить: $t = t + 1$ и выполнить переход к шагу 16, в противном случае считается, что выполнено максимально допустимое количество итераций, и выполняется переход к шагу 17.

Шаг 16. Перезапуск агентов. Все данные о перемещении агентов во всех графах поиска обновляются, агенты размещаются в случайные точки графов поиска. Переход к шагу 3.

Шаг 17. Лучшее найденное дерево решений модифицируется при помощи традиционного мультиагентного метода с непрямой связью между агентами. При этом создаётся граф поиска из узлов, входящих в выбранное лучшее дерево решений. При этом эвристическими мерами приоритетности узлов являются взвешенные значения феромонов для каждого терма, вычисленные на основании полученных матриц феромонов для каждого лингвистического терма выходной переменной. После чего выполняется поиск агентами с непрямой связью между ними по традиционной схеме мультиагентного поиска с непрямой связью.

На основании полученных результатов из дерева решений удаляются рёбра с наименьшим количеством феромонов, что позволяет повысить интерпретабельность и логическую прозрачность сформированного дерева решений.

Шаг 18. Останов.

Предложенный мультиагентный метод идентификации деревьев решений с непрямой связью между агентами был программно реализован в среде пакета Matlab 7.0.

Для экспериментов использовались тестовые данные, которые были взяты из общедоступных репозиториях [16]. Разработанный метод сравнивался с методом CART [5]. Были получены деревья решений, которые характеризовались точностью классификации 81,2% и 86,1% для метода CART и разработанного мультиагентного метода синтеза деревьев решений с непрямой связью между агентами соответственно.

Исходя из полученных результатов проведенных экспериментов, можно отметить, что предложенный мультиагентный метод идентификации деревьев решений обеспечивает синтез деревьев решений, которые позволяют выполнять классификацию с большей точностью, чем в случае синтеза деревьев решений с использованием существующих методов.

Выводы

В работе рассмотрено применение деревьев решений для классификации, а также предложен новый метод синтеза деревьев решений.

Научная новизна работы заключается в том, что разработан новый мультиагентный метод идентификации деревьев решений, использующий при поиске несколько графов поиска для каждого класса объектов, что позволяет синтезировать деревья решений с высокой точностью классификации.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что предложенный мультиагентный метод синтеза деревьев решений был программно реализован и может быть использован при решении практических задач как классификации, так и при решении задач регрессионного анализа.

На основе результатов проведенных экспериментов можно сделать вывод, что предложенный метод идентификации деревьев решений позволяет синтезировать деревья решений с высокими обобщающими способностями, а также позволяет избежать избыточного расширения дерева.

Список литературы: 1. Субботін, С. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія [Текст] / С. О. Субботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник ; під заг. ред. С.О. Субботіна. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — 375 с. 2. Abraham A. Swarm Intelligence in Data Mining / A. Abraham, G. Grosan.

— Berlin : Springer, 2006. — 267 p. **3. Quinlan J. R.** Induction of decision trees / *J. R. Quinlan* // Machine Learning. — 1986. — № 1. — P. 81–106. **4. Classification and regression trees** / *L. Breiman, J. H. Friedman, R. A. Olshen, C. J. Stone*. — California : Wadsworth & Brooks, 1984. — 368 p. **5. Quinlan J. R.** Simplifying decision trees / *J. R. Quinlan* // International Journal of Man-Machine Studies. — 1987. — № 27 (221). — P. 221–234. **6. Quinlan J. R.** Decision trees and decision making / *J. R. Quinlan* // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. — 1990. — № 2 (20). — P. 339–346. **7. Dorigo M.** Optimization, Learning and Natural Algorithms / *M. Dorigo*. — Milano : Politecnico di Milano, 1992. — 140 p. **8. Ant system for job-shop scheduling** / *A. Colomi, M. Dorigo, V. Maniezzo, M. Trubian* // Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science (JORBEL). — 1994. — № 34. — P. 39–53. **9. Олейник, Ал. А.** Сравнительный анализ методов оптимизации на основе метода муравьиных колоний [Текст] / *Ал. А. Олейник* // Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: 36. Наук. праць / За ред. Д. М. Пізи, С. О. Субботіна. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2007. — С. 147–159. **10. Dorigo M.** The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents / *M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi* // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. — 1996. — Part B, № 26 (1). — P. 29–41. **11. Bullnheimer B.** A new rank-based version of the Ant System: A computational study / *B. Bullnheimer, R. F. Hartl, C. Strauss* // Central European Journal for Operations Research and Economics. — 1999. — № 7 (1). — P. 25–38. **12. Stützle T.** The MAX–MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem / *T. Stützle, H. H. Hoos* // Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'97) / Eds. : T. Back, Z. Michalewicz, and X. Yao. — New Jersey : IEEE Press, 1997. — P. 309–314. **13. Stützle T.** Local Search Algorithms for Combinatorial Problems: Analysis, Improvements, and New Applications / *T. Stützle*. — Sankt Augustin : Infix, 1999. — 18 p. **14. Di Caro G.** Two ant colony algorithms

for best routing in datagram networks / *G. Di Caro, M. Dorigo* // Proceedings of the Tenth IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems (PDCS'98) / Y. Pan, S.G. Akl, and K. Li, editors. — Anaheim : IASTED/ACTA Press, 1998. — P. 541–546. **15. Socha K.** The Influence of Run-Time Limits on Choosing Ant System Parameters / *K. Socha* // Proceedings of Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2003). — Chicago : Springer, 2003. — P. 49–60. **16. UCI Machine Learning Repository** [electronic resource] / Center for Machine Learning and Intelligent Systems. — Access mode : <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets.html>.

Поступила в редколлегию 8.02.2011.

УДК 519.6:004.93

Мультиагентний метод побудови дерев рішень / Е.О. Гофман, О.О. Олійник, С.О. Субботін // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 35–40.

У статті досліджується пошук з використанням дерев рішень. Запропоновано мультиагентний підхід до рішення задачі ідентифікації дерев рішень. Розроблено мультиагентний метод побудови дерев рішень з непрямым зв'язком між агентами, що дозволяє позбутися зайвого розширення дерева.

Л. 1. Бібліогр.: 16 найм.

UDC 519.6:004.93

Multiagent method for decision tree construction / E.A. Gofman, A.A. Oleynik, S.A. Subbotin // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 35–40.

The decision trees are analyzed in the paper. The using of multiagent approach for decision tree identification is proposed. The multiagent method for decision tree synthesis is developed. The developed method decreases redundant tree growing.

Fig. 1. Ref.: 16 items.

УДК 519.6



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМАТА ИЗДАНИЯ

И.В. Гребенник¹, Д.В. Грицай²¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, grebennik@kture.kharkov.ua¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, gdv_denys@yahoo.com

Предложена математическая модель задачи поиска оптимального формата издания. Критерием оптимизации является минимум отхода материала для обрезного формата издания с учетом ограничений на пропорции и количество страниц. Приводятся и анализируются примеры.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ФОРМАТ ИЗДАНИЯ, ПЕЧАТНЫЙ ЛИСТ

Введение

Производство печатной продукции переживает в настоящее время перерождение, которое проявляется в изменении подходов и способов отображения информации в книге. Рынок уверенным ходом завоевывают электронные варианты книг. Однако среди всех достоинств электронной книги нельзя недооценивать ее существенный недостаток — полное отсутствие привычного тактильного ощущения, которое так важно в развитии детей и которое присутствует в традиционной печатной книге. Но не стоит забывать о том, что печатная продукция имеет преимущество лишь до тех пор, пока стоимость гаджетов для отображения электронных книг не снизится до стоимости, соизмеримой со стоимостью печатной продукции.

Международная выставка во Франкфурте (Германия) FRANKFURTER BUCH MESSE 2010 [1], показала всему миру, что проблемы, которые существовали ранее в производстве книг, а именно качество материалов, печати, идей, уже не стоят перед книгоиздателями. Вместе с тем возникла другая проблема — как, при сравнительно одинаково хорошем исполнении книг, выделиться из общей массы? Как привлечь внимание покупателя? Книгоиздание, являясь мощной отраслью производства, подчинено действующему законодательству и нормативным документам, определяющим само производство [2]. Форматы книг, тип бумаги, количество страниц и даже оформление должны быть выбраны издательством таким образом, чтобы соответствовать возможностям оборудования, на котором будет выполняться печать издания. Может показаться, что стандартизация лишает книгоиздателя возможности в выборе формата издания. Это вовсе не так. В настоящее время именно оригинальный формат издания может позволить привлечь внимание покупателя.

Под форматом печатного издания понимают его размер по ширине и длине в мм, реже в см. Далее формат печатного издания будем называть обрезной. Бумажные листы, на которых производится печать издания, выпускаются в виде отдельных листов бумаги либо в виде рулонов. Размеры пе-

чатных листов регламентируются оборудованием, на котором осуществляется печать, все возможные размеры печатных листов закреплены в ГОСТ 1342-78. Формат печатного листа обозначают произведением ширины на высоту бумажного листа, для рулонов формат листа обозначают только шириной листа, так как рулонная бумага может быть нарезана на любой требуемый формат [3].

Прежде всего, необходимо определиться с целевой аудиторией, с тем, как и где будет использоваться то или иное книжное издание. Маленькие форматы книг чаще всего используются для карманных книг, средние для учебной литературы, большие для эксклюзивных изданий. Преимущества использования тех или иных форматов подробно описаны в [4, 5].

В [5] предлагается оптимальным считать такой формат, который соответствует характеру и объему материала, целевому назначению и экономическим показателям издания.

С другой стороны, чтобы привлечь внимание покупателя, целесообразно выбирать формат издания немного отличающимся от оптимального, делая уступку в пользу нестандартности формы и размеров издания. Появляется новая задача, которая заключается в поиске наиболее подходящего, в смысле минимизации отхода, материала, формата к выбранному размеру издания.

Целью авторов данной работы является построение математической модели задачи поиска оптимального формата для различной полиграфической продукции, которая может быть использована в информационных системах издательско-полиграфических производств.

1. Задача поиска оптимального формата издания

Задача поиска оптимального формата издания может быть сформулирована таким образом. Имея желаемый обрезной (размер печатного издания) и некоторый допуск на изменение обрезного, необходимо подобрать стандартный формат листа, печать на котором обеспечит минимальный отход материала. При поиске нужного формата листа необходимо сохранить первоначальные пропорции

издания, оценить возможность использования заданного количества страниц. Оценка происходит исходя из доли листа — части печатного листа, которую составляет страница по отношению к формату печатного листа бумаги. Доля листа зависит от количества сгибов при фальцовке. В Украине для обозначения доли листа используют следующую форму записи, например, $60 \times 90 / 16$, $84 \times 108 / 32$, где последнее число является долей листа.

Правила размещения изданий на печатные листы описаны в [4, 6]. В данной постановке рассматриваются следующие варианты расположения страниц на печатном листе:

- на один печатный лист размещается одно издание полностью — доля листа равна количеству страниц издания. Например, издание состоит из одной 16-ти страничной тетради, при этом размещается на одном печатном листе, тогда доля листа должна быть равна 16 при печати с одной стороны листа и 8 при печати с двух сторон листа;

- на один печатный лист размещается более одного полного издания — количество страниц кратно доле печатного листа. Например, издание состоит из одной 16-ти страничной тетради, при этом размещается на одном печатном листе, тогда при 16-ой доле и печати с двух сторон листа на один лист помещается две тетради, т. е. одно издание размещается полностью два раза на одном печатном листе;

- одно издание размещается более чем на один печатный лист. Например, издание состоит из четырех 16-ти страничных тетрадей, т. е. состоит из 64 страниц, тогда, при печати в 16 долю на двух сторонах печатного листа, полностью издание будет напечатано на двух целых печатных листах. Если при таких же условиях издание состоит из пяти тетрадей (80 страниц), то печать будет на 2,5 печатных листах, либо на 3-х, если третий лист будет печататься со своим оборотом. Подробное описание процесса формирования спусков полос для вывода изданий различных типов приведены в [6].

Если заданное количество страниц не является кратным доле листа, то необходимо изменить количество страниц до ближайшего количества, кратного доле. Может получиться так, что под заданный обрезной не существует стандартного формата, в котором материал используется полностью. Тогда необходимо либо допустить некоторый отход материала в пределах допустимой для данного издания нормы (связано с экономической целесообразностью), либо предложить изменить исходный размер издания в заданном диапазоне, соблюдая пропорции заданного размера обрезного. С учетом всех ограничений задача может не иметь решения.

Для построения математической модели введем следующие обозначения:

- W, H — заданные ширина и высота страницы для будущего издания соответственно;

$k = \frac{W}{H}$ — коэффициент пропорциональности, характеризующий соотношение размеров страницы издания;

$2\Delta w$ — длина интервала, в пределах которого может изменяться ширина страницы.

Тогда

$$W_i = (W - \Delta w) + (i - 1) \cdot \delta_0, \quad (1)$$

где W_i — возможные значения ширины страницы; δ_0 — величина шага изменения размера по ширине страницы, $i = 1, 2, \dots, N$, $N = \frac{2\Delta w}{\delta_0} + 1$.

- $2\Delta h = 2\Delta w \cdot k$ — длина интервала, в пределах которого может изменяться высота страницы:

$$H_i = (H - \Delta h) + (i - 1) \cdot \delta_1, \quad (2)$$

где H_i — возможные значения высоты страницы; $\delta_1 = \delta_0 \cdot k$ — величина шага изменения размера по высоте страницы.

- Q — планируемое количество страниц издания;

- $P = \{P_j\}$, $P_j \in R^1$, $j = 1, 2, \dots, M$ — множество всех возможных долей листа, где $P_j = c_g \cdot d_e$, здесь c_g, d_e — натуральные числа, соответствующие количеству столбцов и строк расположения страниц на печатном листе $g = 1, 2, \dots, G$; $e = 1, 2, \dots, E$ (рис. 1).

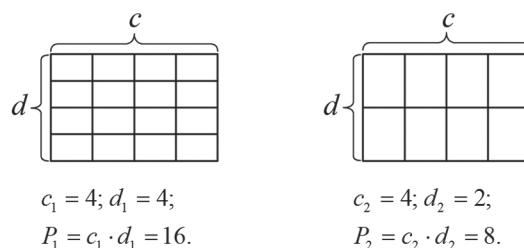


Рис. 1. Доля листа

- $F^r = \{(F^{rz}, F^{r4})\}$, $z = 1, 2, 3$ — множество всех возможных форматов печатных листов, получаемых с рулонной бумаги.

- F^{rz} — множество значений ширины ($z = 1, 2, 3$) и длины ($z = 4$) рулона бумаги, которые существуют на сегодняшний день согласно ГОСТ 1342-78. В [7] определены следующие размеры бумаги в рулонах:

$$F^{r1} = \{60, 70, 75, 84, 90, 100, 108, 120, 126, 140, 168\};$$

$$F^{r2} = \{36, 42, 64, 82, 105, 150, 180\};$$

$F^{r3} = \{46, 51, 52\}$, где F^{r1}, F^{r2}, F^{r3} — ширины рулонной бумаги. При этом рулон может быть нарезан длиной $F^{r4} = \{36, 37, \dots, 108\}$.

- $F^{rz} \in F^R$; $F^R = F^{r1} \cup F^{r2} \cup F^{r3}$ — множество всех возможных ширин рулонов бумаги;

- F^{r4} — множество всех возможных длин печатных листов, на которые могут быть порезаны

рулоны бумаги. При этом длина печатного листа изменяется с шагом δ_2 . Максимальная и минимальная длины печатных листов с рулонов бумаги обозначим $L_{\max}, L_{\min}$ соответственно. При этом получаем $T = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{\delta_2} + 1$ вариантов длин печатных листов, на которые возможно порезать рулоны бумаги.

— $F^s = F^{s1} \cup F^{s2}$ — множество всех возможных форматов листовой бумаги;

Согласно [6] существуют следующие форматы листовой бумаги:

$$F^{s1} = \{(60, 84), (60, 90), (70, 90), (70, 100), (70, 108), (84, 108)\}.$$

$$F^{s2} = \{(60, 100), (61, 86), (70, 75), (80, 100), (90, 100), (92, 120)\}.$$

Получаем, что все множество форматов печатных листов равно $F = F^r \cup F^s$.

— $F = \{F_k\}$, $k = 1, 2, \dots, K$ — множество всех используемых форматов бумаги;

$F_k = \{(a_k, b_k) \in R^2\}$, где a_k, b_k — соответственно высота и ширина листа k -го формата.

— $O = \{o1, o2, o3, o4\}$ — левое и правое, верхнее, нижнее технические поля, используемые для печатного листа.

— $B = \{b1, b2, b3, b4\}$ — левое, правое (внутреннее), верхнее, нижнее технические поля, используемые для формирования до-обрезного формата.

Площадь области размещения страниц издания формируется по следующему правилу:

$$S_k = [a_k - (o3 + o4)] \times [b_k - (o1 + o2)]. \quad (3)$$

Правила размещения страниц издания на печатном листе регламентируются типом переплета, который используется в издании, и ориентацией страниц в издании (альбомная и портретная ориентации страниц). Рассмотрим наиболее распространенные типы переплетов [7]: переплет, в котором страницы издания собираются в тетради — скоба, клеевой, твердый и т. д., а также переплет, которым издание собирается отдельными страницами — пружина, тесьма и т. п.

Потетрадная сборка издания

При потетрадной сборке издания размещение на печатный лист производится разворотами, а, следовательно, площадь размещаемого объекта с учетом ориентации страниц равна:

$$s_{ilp} = w_{ilp} \cdot h_{ilp}, p = 1, 2. \quad (4)$$

Соответственно ширина и высота размещаемого объекта для портретной ориентации следующие:

$$w_{i11} = 2(W_i + b1 + b2); h_{i11} = (H_i + b3 + b4). \quad (5)$$

Для альбомной ориентации:

$$w_{i12} = (H_i + b1 + b2); h_{i12} = 2(W_i + b3 + b4). \quad (6)$$

Постраничная сборка издания

При постраничной сборке издания, размещение на печатный лист производится страницами, а, следовательно, площадь размещаемого объекта с учетом ориентации страниц равна:

$$s_{i2p} = w_{i2p} \cdot h_{i2p}, p = 1, 2. \quad (7)$$

Соответственно ширина и высота размещаемого объекта для портретной ориентации следующие:

$$w_{i21} = (W_i + b1 + b2); h_{i21} = (H_i + b3 + b4). \quad (8)$$

Для альбомной ориентации:

$$w_{i22} = (H_i + b1 + b2); h_{i22} = (W_i + b3 + b4). \quad (9)$$

Используя формулы (4—9) с учетом возможных долей листа, рассчитывается полезная площадь, занимаемая страницами издания на одном печатном листе:

$$S_{ij} = s_{ilp} \cdot P_j; l = \{1, 2\}, p = \{1, 2\}, \quad (10)$$

где $l = 1$ соответствует потетрадной сборке издания, а $l = 2$ — постраничной.

2. Математическая модель

Управляемыми переменными задачи в выбранных обозначениях являются ширина страницы издания W_i и соответствующая ей высота страницы H_i , $i = 1, 2, \dots, N$; доля печатного листа $P_j(c_g, d_e)$, $j = 1, 2, \dots, M$; $g = 1, 2, \dots, G$; $e = 1, 2, \dots, E$; формат печатного листа $F_k(a_k, b_k)$, $k = 1, 2, \dots, K$; количество страниц издания Q .

Множество всех значений управляемых переменных формирует область допустимых решений задачи Ω , которая имеет следующий вид:

$$\Omega = \{\omega \in \Omega \subset R^7 \mid \omega = (W, H, c, d, a, b, Q)\}, \quad (11)$$

где $W \in \{W_1, W_2, \dots, W_N\}$ — множество всех значений ширины страницы; $H \in \{H_1, H_2, \dots, H_N\}$ — множество всех значений высот страницы; c, d — натуральные числа, представляющие количество столбцов и строк расположения страниц на печатном листе, произведение которых соответствует доле листа; $a \in \{a_1, a_2, \dots, a_K\}$ — множество высот печатного листа; $b \in \{b_1, b_2, \dots, b_K\}$ — множество ширин печатного листа; Q — количество страниц издания.

В качестве критерия оптимизации $K = K(\omega)$ выберем коэффициент заполнения печатного листа, характеризующий эффективность использования материала, который следует максимизировать. Отметим, что критерий $K(\omega)$ зависит от параметров l и p , характеризующих тип переплета ($l = 1, 2, 3$) и ориентацию страниц ($p = 1, 2, 3$). Таким образом,

$$K = K(\omega, l, p). \quad (12)$$

Коэффициент заполнения печатного листа k -го формата j -ой доли k_{kj} равен:

$$K = K(\omega, l, p) = \frac{S_{ij}}{S_k}, S_{ij} \leq S_k, \quad (13)$$

где S_{ij} определяется формулой (10), а S_k — соотношением (3).

Подставив данные соотношения в (13), получим:

$$K = \frac{w_{ilp} \cdot h_{ilp} \cdot c_g \cdot d_e}{[a_k - (o3 + o4)] \times [b_k - (o1 + o2)]}. \quad (14)$$

Областью допустимых решений можно управлять при помощи параметров задачи, которые отражают издание. Поиск может осуществляться для изданий в различном переплете и различных вариантах ориентации страниц изданий.

Параметр задачи l , отражающий переплет: $l = 1$ — для потетрадной сборки; $l = 2$ — для постраничной сборки; $l = \{1, 2\}$ — комбинированный поиск (используются оба варианта сборки).

Параметр задачи p , отражающий ориентацию страниц издания: $p = 1$ — альбомная ориентация страниц; $p = 2$ — портретная ориентация страниц; $p = \{1, 2\}$ — комбинированный поиск (используются обе ориентации для издания).

3. Ограничения задачи

1. Количество отхода бумаги не должно превышать допустимой нормы:

$$(k_{ij})_{\text{отх}} = \frac{S_k - S_{ij}}{S_k} \leq k_{\text{доп}}, \quad (15)$$

где $k_{\text{доп}}$ — допустимый отход бумаги.

2. Ограничение на количество страниц в издании.

Количество страниц регламентирует используемые в вычислениях доли листов. Так, например, 24 страницы издания предполагают использование 6, 8, 12, 24 долей листа, тогда как 32 страницы предполагают доли 8, 16, 32.

Количество страниц должно быть кратно доле листа. Если соотношение не выполняется, то необходимо изменить количество страниц издания к кратности ближайшей доли.

Количество страниц превышает долю листа. Это означает, что печать издания будет происходить в несколько форматных листов:

$$P_j \leq Q: \frac{Q}{P_j} \in \alpha, \alpha = \{1, 1.5, 2, \dots\}. \quad (16)$$

Количество страниц меньше доли листа. Это означает, что на одном печатном листе должно быть напечатано более одного полного издания:

$$P_j > Q: \frac{P_j}{Q} \in \beta, \beta = \{1, 2, \dots\}. \quad (17)$$

Сформулированная задача является оптимизационной вида:

$$K(\omega, l, p) \rightarrow \max_{\omega \in \Omega}. \quad (18)$$

Таким образом, наилучшим форматом печатного листа под заданный обрезной формат будем считать тот, коэффициент заполнения которого с учетом ограничений является максимальным.

4. Многокритериальная задача оптимизации определения формата печатного издания

В ряде случаев количество решений, близких по эффективности, полученных при использовании одного критерия оптимизации, является настолько большим, что его нельзя предоставлять эксперту для принятия решения о выборе нужного формата. В связи с этим, для получения приемлемого количества решений возникает необходимость вводить дополнительные критерии оптимизации, использовать больше ограничений. Задача становится многокритериальной, ее решение может быть найдено одним из известных методов.

В качестве дополнительных ограничений можно вводить ограничения на количество используемых форматов, число допустимых долей.

Как дополнительные критерии оптимизации можно принять, например, минимум стоимости печатного листа (что соответствует, как правило, минимуму площади печатного листа), минимум количества печатных листов (что будет целесообразно для изданий с большим количеством страниц), используемых для печати одного издания.

Также для лучшего заполнения печатного листа рационально коэффициент пропорциональности k представить как дополнительный критерий. Тогда, в зависимости от предпочтений эксперта в отношении критериев оптимизации (максимум заполнения печатного листа и минимальное отклонение от заданного коэффициента пропорциональности) задача может быть сформулирована следующим образом:

1. Найти наименьшее отклонение от заданного коэффициента пропорциональности на максимально заполненных печатных листах.

2. Найти максимальное заполнение печатного листа среди изданий, коэффициент пропорциональности которых отклонен от первоначально заданного коэффициента минимально.

Решение задачи в многокритериальной постановке может быть найдено, например, с помощью последовательной оптимизации критериев.

5. Анализ области допустимых решений

Область допустимых решений рассматриваемой задачи формируют следующие переменные и ограничения: количество используемых форматов, количество долей листа, на которые влияет количество заданных страниц, тип переплета (потетрадная либо постраничная сборка), размер страниц издания, который выражается в пропорции сторон и возможности изменения самого размера страниц, т. е. диапазона.

Таким образом, при заданном обрезном формате, имеем N вариантов страниц издания, которые могут быть размещены на M вариантах долей печатного листа, которых может быть K .

Рассмотрим каждую из составляющих области допустимых решений. Количество используемых форматов зависит от количества форматов, используемых на конкретном производстве, и зависит от технического оснащения последнего. В общем случае, согласно ГОСТ 1342-78 установлены размеры для листовой и рулонной бумаги (типографской, офсетной и глубокой печати).

Общее количество форматов равно:

$$K = q_1 + q_2 + (q_3 + q_4 + q_5) \cdot T, \quad (19)$$

где q_1 — количество основных форматов листовой бумаги; q_2 — количество дополнительных форматов листовой бумаги; q_3 — количество основных размеров рулонной бумаги; q_4 — количество дополнительных размеров рулонной бумаги; q_5 — количество размеров рулонной бумаги для глубокой печати; $T = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{\delta_2} + 1$ — количество вариантов длин печатных листов, на которые возможно порезать рулоны бумаги; δ_2 — шаг изменения длины печатного листа; $L_{\max}, L_{\min}$ — максимальная и минимальная длины печатных листов с рулонов бумаги.

Количество возможных долей с учетом обеспечения кратности страниц издания доле равно:

$$m_j = \frac{m_{\min} - m_{\max}}{P_j} + 1, \quad (20)$$

где $m_{\min}$ — минимальное число, которое может быть разделено без остатка на долю P_j из всего множества долей P ; $m_{\max}$ — максимальное число, которое может быть разделено без остатка на долю P_j из всего множества долей P .

Количество вариантов размеров обрезного формата с учетом заданного диапазона и шага изменения равно:

$$N = \frac{2\Delta w}{\delta_0} + 1, \quad (21)$$

где $2\Delta w$ — длина интервала, в пределах которого может изменяться ширина страницы; δ_0 — величина шага изменения размера по ширине страницы.

Таким образом, количество всех возможных вариантов с учетом указанных ограничений равно:

$$\mu = K \cdot N \cdot \sum_{j=1}^M m_j, \quad (22)$$

$$\mu = \left[q_1 + q_2 + (q_3 + q_4 + q_5) \cdot \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{\delta_2} + 1 \right) \right] \times \left[\frac{2\Delta w}{\delta_0} + 1 \right] \cdot \left[\sum_{j=1}^M \left(\frac{m_{\min} - m_{\max}}{P_j} + 1 \right) \right]. \quad (23)$$

Предположим, что могут использоваться все возможные форматы бумаги, указанные в [7]. Шаг изменения размеров обрезного формата и шаг изменения длины листа рулонной бумаги примем равными единице. Максимальную долю листа для печати примем равной 48, а минимальную — 1. Следовательно, получим всего 48 возможных долей печатного листа. С учетом заданных значений параметров найдем количество допустимых решений:

$$\mu = \left[6 + 6 + (11 + 7 + 3) \cdot \left(\frac{108 - 36}{1} + 1 \right) \right] \times \left[\frac{2 \cdot 5}{1} + 1 \right] \cdot 198 = 3365010 \text{ вариантов.}$$

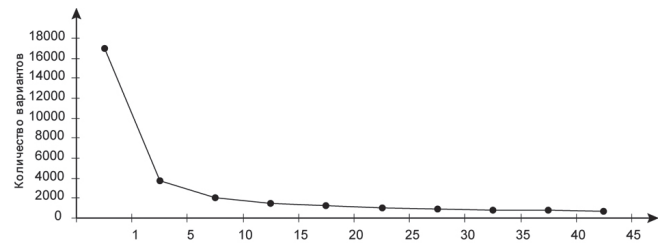


Рис. 2. Зависимость области допустимых решений от шага порезки рулонной бумаги

Очевидно, что на область допустимых решений большое влияние оказывает шаг, с которым будет производиться резка рулонной бумаги. Именно шаг дает возможность достаточно быстро сузить область до размера, при котором становится возможным и даже целесообразным использовать метод полного перебора. Выше, на рис. 2, показана скорость сужения области допустимых решений при изменении шага порезки рулонной бумаги.

6. Вычислительные эксперименты

Предложенная математическая модель реализована в программном модуле для издательско-полиграфической системы. С помощью модуля были проведены вычислительные эксперименты, которые проводились в несколько этапов.

1. Задача поиска оптимального формата для листовых форматов.

Условие задачи: использовано 7 типов листового печатного листа, первоначальный размер страницы: 163 мм ширина и 207 мм высота. Размер страницы может изменяться от 158 мм до 168 мм с шагом 1 мм. Поиск производится только для книг в твердом переплете, на скобе либо в клеевом переплете. Ориентация страницы не важна, а, следовательно, может быть книжной или альбомной. Минимальный коэффициент заполнения 95%.

Найденное решение представлено в табл. 1.

Как видно, наилучшим решением является страница с размерами 165 мм на 210 мм. Печать должна производиться с печатного листа 70 × 90 / 16, где 16 — доля листа. Время поиска меньше секунды.

Таблица 1

Результат поиска

№	Формат	Ширина страницы	Высота страницы	Доля	Значение критерия
2	700 × 900	162	206	4 × 4	0,953655
3	700 × 900	163	207	4 × 4	0,963807
4	700 × 900	164	208	4 × 4	0,974012
5	700 × 900	165	210	4 × 4	0,988764

2. Задача поиска оптимального формата для листовых и ролевых форматов.

Условие задачи: использовано 15160 типов печатных листов (листовые и ролевые), первоначальный размер страницы 163 мм ширина и 207 мм высота. Размер страницы может изменяться от 158 мм до 168 мм с шагом 1 мм. Поиск производится только для книг в твердом переплете, на скобе либо в клеевом переплете, а также для книг на пружине. Ориентация страницы не важна, а, следовательно, может быть книжной или альбомной. Минимальный коэффициент заполнения 98%.

Найденное решение представлено в табл. 2. Всего найдено 3232, удовлетворяющих условию задачи решения.

Таблица 2

Результат поиска

№	Формат	Ширина страницы	Высота страницы	Доля	Значение критерия
2	700 × 360	165	210	2 × 3	0,985075
3	700 × 361	165	210	2 × 3	0,982186
4	700 × 362	166	211	2 × 3	0,989552
...	...	...	...	...	...
3230	700 × 1080	168	213	6 × 3	0,981985
3231	700 × 900	165	210	4 × 4	0,988764
3232	700 × 900	168	213	5 × 3	0,983824

Данное количество вариантов слишком велико для предоставления эксперту. Используя дополнительные критерии, описанные в математической модели, данное количество возможно уменьшить для более наглядного предоставления результата. Время поиска 37 секунд.

3. Задача поиска оптимального формата с использованием стандартной ролевой и листовой бумаги. Многокритериальная оптимизация.

Условие задачи: использовано 15160 типов печатных листов (листовые и ролевые), первоначальный размер страницы: 163 мм ширина и 207 мм высота. Размер страницы может изменяться от 158 мм до 168 мм с шагом 1 мм. Поиск производится только для книг в твердом переплете, на скобе, либо в клеевом переплете, а также для книг на пружине. Ориентация страницы не важна, а, следовательно, может быть книжной или альбомной. Минимальный коэффициент заполнения 98%.

В качестве дополнительного критерия был использован критерий минимума стоимости печат-

ного листа (минимум площади печатного листа). Найденное решение представлено в табл. 3. Всего найдено 1, удовлетворяющее условию задачи решение.

Таблица 3

Результат поиска

№	Формат	Ширина страницы	Высота страницы	Доля	Значение критерия
1330	360 × 448	160	204	2 × 2	1

Наилучшим решением является страница с размерами 160 мм на 204 мм. Печать должна производиться с печатного листа 360 × 448 / 4, где 4 — доля листа. Время поиска 17 секунд.

4. Задача поиска оптимального формата с использованием стандартной ролевой и листовой бумаги.

Условие задачи: использовано 78 типов печатных листов (листовые и ролевые), первоначальный размер страницы 163 мм ширина и 207 мм высота. Размер страницы может изменяться от 158 мм до 168 мм с шагом 1 мм. Поиск производится только для книг в твердом переплете, на скобе, либо в клеевом переплете, а также для книг на пружине. Ориентация страницы не важна, а, следовательно, может быть книжной или альбомной. Минимальный коэффициент заполнения 98%.

Найденное решение представлено в табл. 4. Всего найдено 11 удовлетворяющих условию задачи решений.

Таблица 4

Результат поиска

№	Формат	Ширина страницы	Высота страницы	Доля	Значение критерия
2	700 × 550	166	211	3 × 3	0,985818
3	900 × 530	163	207	3 × 4	0,985963
4	900 × 540	162	206	3 × 4	0,985464
...	...	...	...	...	...
9	700 × 900	168	213	5 × 3	0,983824
10	700 × 1080	159	202	5 × 4	0,984827
11	700 × 1080	160	203	5 × 4	0,995327
12	700 × 1080	168	213	6 × 3	0,981985

Дальнейшее сужение области допустимых решений возможно увеличением значения минимального коэффициента заполнения, выбором доли листа. Время поиска менее секунды.

Выводы

Построенная в работе математическая модель определения оптимального формата издания, а также программный модуль могут быть использованы в составе математического и программного обеспечения интеллектуальных систем автоматизации издательской деятельности. Вычислительные эксперименты, проведенные в рамках исследования, показали эффективность предлагаемого

подхода при решении задачи поиска оптимального формата в смысле минимизации отхода материала. Разработанное программное средство позволяет быстро находить решение, что позволяет делать оценку возможных форматов для заданного обрезного формата. Данное средство может быть использовано в отделах производства и в редакторских отделах, что сократит время выдачи задания на печать издания.

Дальнейшее развитие предложенной модели может вестись в рамках многокритериальной задачи, которая была описана в пункте 4 настоящей статьи, а также за счет учета большего числа параметров задачи. Другим направлением развития результатов работы является разработка более эффективных алгоритмов решения предложенной задачи.

Список литературы: 1. www.buchmesse.ru; 2. Энциклопедия книжного дела / Авт. кол.: Ю. Ф. Майсурадзе, А. Э. Мильчин, Э. П. Гаврилов и др. — справ. изд. — М.: Юрист, 1998. — 536 с. 3. *Полянский, Н. Н.* Технология полиграфического производства. Ч1 — Производство печатных форм [Текст] / Н.Н. Полянский. — М.: Книга, 1980. 4. *Пикок, Джон.* Издательское дело. / Пер. с англ. 2-е издание, исправленное и дополненное [Текст] / Джон Пикок. — М.: Издательство ЭКОМ, 2002. — 424 с.: ил. 5. *Добкин, С. Ф.* Оформление книги: редактору и автору [Текст] / С. Ф. Добкин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Книга, 1985. — 208 с.: ил. 6. *Фрэнк, Романо.* Принт-медиа

бизнес [Текст] / Фрэнк Романо: Пер. с англ. М. Бредис, В. Вобленко, Н. Друзьева; Под ред. Б. А. Кузьмина. — М.: ПРИНТ-МЕДИА центр, 2006. — 456 с. 7. ГОСТ 1342-78. 8. *Стефанов, С. И.* Реклама и полиграфия: опыт словаря-справочника [Текст] / С. И. Стефанов. — М.: Гелла-принт, 2004. — 318 с.: ил.

Поступила в редколлегию 22.02.2011.

УДК 519.85

Математична модель задачі визначення оптимального формату видання / І. В. Гребеннік, Д. В. Грицай // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 41–47.

Аналізується одна з актуальних проблем поліграфії — задача визначення оптимального формату видання. Для її розв'язання запропонована математична модель. Проведено аналіз області допустимих рішень. Виконані обчислювальні експерименти.

Табл. 4. Іл. 2. Бібліогр.: 8 найм.

UDK 519.85

A mathematical model of the problem of determining the optimal size of the edition / I. V. Grebennik, D. V. Grytsay // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 41–47.

One of the most actual problems in the printing industry — the problem of determining the optimal size of the edition is analyzed. A mathematical model for solving of the problem is offered. The analysis of the feasible region of the problem is implemented. The computational experiments are performed.

Tab. 4. Fig. 2. Ref.: 8 items.



СИСТЕМЫ ПРИЗНАКОВ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-АТРИБУТИВНЫХ ОТНОШЕНИЙ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.А. Гороховатский

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, e-mail:gorohovatsky-v@rambler.ru

Обсуждаются принципы построения пространств признаков в структурно-иерархических методах распознавания изображений, построенных на основе голосования элементов. В качестве основного инструмента предложено применение аппарата отношений. Результат разработки — модифицированные методы, которые обеспечивают высокую вероятность правильной классификации по сравнению с традиционными. Обсуждаются результаты экспериментов по анализу и классификации изображений реальных объектов.

РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ, СТРУКТУРНО-ИЕРАРХИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ПРОСТРАНСТВО ХАРАКТЕРНЫХ ПРИЗНАКОВ, ГОЛОСОВАНИЕ, АТРИБУТИВНЫЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОТНОШЕНИЯ, ВЕРОЯТНОСТЬ ПРАВИЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Введение

Распознавание визуального объекта на основе описания Z с применением структурно-иерархического метода (СИМ) рассматривается как отображение $\mathfrak{R}: Z \rightarrow \{Z(j)\}$, где $\{Z(j)\}$ — конечное множество эталонных описаний, и реализуется как решение задачи оптимизации

$$j^* = \arg \max_{j \in J} \vartheta(Z, Z(j)), j^* \in J, \quad (1)$$

где J — множество классов. При определении меры подобия $\vartheta(Z, Z(j))$ вычисляется мощность $\mu(Z_j)$ подмножества $Z_j \subseteq Z$, для элементов которого установлена эквивалентность $Z(j)$, и при решении (1) определяется Z_j наибольшей мощности. Если $\mu(\cdot)$ — мощность множества, то значения выражений $\mu(Z_{j^*})/\mu(Z)$ или $\mu(Z_{j^*})/\mu(Z(j))$, отражающие доли отданных за класс $Z(j^*)$ голосов, трактуются как оценка апостериорной вероятности отнесения Z к классу j . Вычисление $\mu(Z_j)$ для теоретико-множественной модели Z соответствует голосованию элементов $z^k \in Z$ и сводится к построению на множестве Z представления $Z = \bigcup Z_j$ в виде разбиения ($Z_i \cap Z_j = \emptyset$) или покрытия ($Z_i \cap Z_j \neq \emptyset$) из элементов, которые получают метку класса j путем отображения $Z \rightarrow J$ [1].

Функционально меру подобия $\vartheta(Z_1, Z_2)$ описаний Z_1, Z_2 представим в виде кортежа $\vartheta = \langle \Psi_1, \Psi_2, Z_1, Z_2 \rangle$, где Ψ_1 — локальный анализ характерных признаков (ХП), нацеленный на устранение пространственных помех, Ψ_2 — глобальная обработка множества локальных решений или подобий. Меры ϑ основаны на локальной в пространственном смысле обработке, используют структурные свойства объектов, поэтому их можно характеризовать как локально-пространственные меры. Изучены три основные модели таких мер: векторная, множественная и иерархическая [2]. Векторная модель применяется в модификациях корреляционного сопоставления и предполагает

наличие фиксированного структурного соответствия между элементами z_1^i, z_2^i описаний Z_1, Z_2 . Более сложная в вычислительном плане модель на основе множеств предполагает сравнение элементов Z_1, Z_2 по принципу «каждый с каждым» с применением Ψ_1 . Наиболее общий вид модели структурного анализа для меры ϑ соответствует сопоставлению иерархий $H(Z_1), H(Z_2)$, построенных на множествах Z_1, Z_2 ,

$$\vartheta = \Psi_2[\Psi_1[H(Z_1), H(Z_2)]]. \quad (2)$$

Основными критериями качества распознавания с применением СИМ в задачах компьютерного зрения являются: достоверность распознавания, объем вычислительных операций, помехозащищенность [3].

Развитие СИМ в целях улучшения характеристик распознавания может быть осуществлено в следующих направлениях.

1. Использование взаимосвязи и взаимодействия признаков в процессе распознавания. Примером есть пространственно-атрибутивные свойства ХП, которые характерны для задач анализа протяженных объектов. Взаимодействие признаков может быть основой формирования иерархий либо иерархического анализа описания. Многоаспектный или многоуровневый анализ совокупности признаков пространств повышает вероятность правильной классификации [4-7].

2. Сокращение мощности признакового описания. Это достижимо либо путем грануляции (в пространственно-атрибутивном плане), либо сжатием описания путем формирования подмножества $Z^0 \subset Z$ «значимых» в каком-то смысле элементов. Эти действия снижают вычислительные затраты при реализации СИМ.

3. Оптимизация параметров СИМ, где целевой функцией выступают вероятностные характеристики и/или временные затраты на распознавание [3].

Цель настоящего исследования — развитие и обоснование принципов усовершенствования СИМ, реализующих взаимодействие пространств структурных признаков на базе аппарата отношений.

1. Построение признаков на основе отношений

Структуру элемента $z \in Z$ рассмотрим в виде $z = (\lambda, c)$, где λ — значение (атрибут) признака, а $c = (x, y)$ — его координаты. Соответственно описание представляется в виде пары множеств $Z = (\Lambda, C)$, $\lambda \in \Lambda$, $c \in C$. Между Λ и C имеется однозначное соответствие $C \rightarrow \Lambda$, причем Λ — мультимножество.

Применим аппарат отношений на множествах Z, Λ, C [4]. Бинарное отношение R_Z на множестве Z определяется в виде $R_Z \subseteq Z \times Z$ и обычно задается предикатом для пар $\omega(i, k) = (z^i, z^k)$, $z^i, z^k \in Z$, устанавливающим принадлежность $\omega(i, k) \in R_Z$. Для задач компьютерного зрения важным есть анализ типов отношений: атрибутивные R_Λ — на множестве Λ , пространственные R_C — на множестве C , а также комбинированные R_Z , заданные на множестве пар $[(\lambda^i, c^i), (\lambda^k, c^k)] \in R_Z$.

С учетом введенного аппарата отношений структурное описание приобретает вид $Z = (\Lambda, C, R)$, где R — множество отношений. Распространение в задачах двумерного анализа получили двух- и трехместные отношения R_Λ , среди которых можно выделить совместное голосование пар ХП на основе отношения $R_\Lambda \subseteq \Lambda \times \Lambda$ и четырехместные отношения $R_C \subseteq C \times C \times C \times C$ при представлении координат структурных ХП в пространстве аффинных инвариантов [5,6]. Заметим, что увеличение арности отношений усиливает интегральные свойства методов анализа, но в то же время из-за увеличения числа анализируемых признаков растут временные затраты и снижается уровень помехозащищенности к пространственным помехам.

Рассмотрим примеры построения и анализа пространств признаков с применением отношений.

1. Применим атрибутивные отношения R_Λ в виде совместного голосования за один и тот же класс для подмножества из набора $\omega(1, \dots, s) = (z^1, z^2, \dots, z^s)$ структурных элементов, представляющих описание. На примере бинарного отношения сформируем голос h_j пары $\omega(i, k) = (z^i, z^k)$ за класс j в виде

$$h_j[\omega(i, k)] = \begin{cases} 1, & [\theta_j(\lambda^i) \neq \emptyset] \& [\theta_j(\lambda^k) \neq \emptyset], \\ 0, & \text{otherwise}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\theta_j(\lambda^i) = \{\lambda \in \Lambda(j) \mid \rho(\lambda, \lambda^i) \leq \varepsilon_\lambda\}$ — множество соответствий элемента $\lambda^i \in \Lambda$ в эталонном описании $\Lambda(j)$, $Z(j) = (\Lambda(j), C(j))$, $\rho(\lambda, \lambda^i)$ — метрика на множестве атрибутов Λ , ε_λ — порог для эквивалентности двух элементов в смысле $\rho(\lambda, \lambda^i) \leq \varepsilon_\lambda$, а символ $\&$

означает одновременное выполнение двух условий и соответствует произведению значений логических переменных, отражающих истинность выражения в скобках. Голос h_j пары $\omega(i, k)$ в соответствии с (3) засчитывается ($h_j = 1$), если множества соответствий каждого из них в эталонном множестве $\Lambda(j)$ не пусты. Под соответствием θ между ХП понимают близость их значений, принадлежность одному объекту, к одному классу и т.д. Выражение (3) обобщается на произвольный набор из l элементов $l \leq s$ в виде

$$h_j[\omega(1, \dots, l)] = \begin{cases} 1, & \&_{i=1,2,\dots,l} [\theta_j(\lambda^i) \neq \emptyset], \\ 0, & \text{otherwise}. \end{cases}$$

Причем логическое произведение, в свою очередь, можно представить в виде произвольной логической функции $Q(\lambda^1, \dots, \lambda^l)$ l переменных.

Наряду с описанным способом формирования $\theta_j(\lambda^i)$, в результате которого анализируются множественные соответствия ХП (один признак объекта может соответствовать нескольким признакам эталона), соответствие $\theta_j(\lambda^i)$ может формироваться также путем однозначного отображения вида

$$\theta_j(\lambda^i) = \begin{cases} \lambda^g, & g = \arg \min_{\lambda \in \Lambda(j)} \rho(\lambda, \lambda^i), \rho(\lambda^g, \lambda^i) \leq \varepsilon_\lambda, \\ \emptyset, & \text{otherwise}, \end{cases} \quad (4)$$

где $\lambda^g \in \Lambda(j)$, а поиск минимума меры подобия осуществляется во множестве $\Lambda(j)$.

Эффективность применения правила (3) можно объяснить тем обстоятельством, что вероятность ложного соответствия пары независимых признаков разных множеств, вычисляемая в виде произведения вероятностей для одиночных элементов, не больше вероятности ложного соответствия для элементов в отдельности. Фактически применение (3) снижает вероятность ложной тревоги. Как показали эксперименты, этим достигается и снижение вероятности ошибки в целом [4]. Применение однозначных соответствий (4) при распознавании путем голосования по сравнению с множественными соответствиями в целом упрощает решающее правило, однако, приводит к снижению помехозащищенности, т.к. групповое голосование обладает более высокими интегральными свойствами.

2. Рассмотрим атрибутивные отношения R_Λ вида (3), (4) на множестве данных, которое сформируем путем предварительного применения пространственных отношений R_C для компоненты C описания Z . В результате получим суперпозицию пространственно-атрибутивных отношений в виде последовательности $R = R_\Lambda R_C$. В качестве R_C используем значения аффинных инвариантов на множестве C . Элемент v^i множества $V = \{v^i\}$ инвариантов имеет вид $v^i = [c_i, \{\xi_k, \varsigma_k\}_{k=1}^m]$, где $c_i \in C$ — координаты ХП из описания Z , $\{\xi_k, \varsigma_k\}$ — множество аффинных инвариантов, представляющих точку $c_i = (x_i, y_i)$ на множестве базисов, образован-

ных тройками неколлинеарных точек описания, n — число элементов в описании Z , $m = C_n^3$ — максимально возможное число базисов, равное числу инвариантов [6].

Основная вычислительная нагрузка при классификации на основе V определяется построением множества базисов, вычислением инвариантов $\{\xi_k, \zeta_k\}$ для каждого ХП объекта и определения путем поиска в эталонной таблице H номера класса, к которому относится $\{\xi_k, \zeta_k\}$. Каждый ХП при этом неоднократно рассматривается как элемент базиса. На множестве V базисов объекта сформируем атрибутивное бинарное отношение $R_V \subset V \times V$, которое заключается в том, что аффинные инварианты (ξ_1, ζ_1) , (ξ_2, ζ_2) для представления ХП в базисах $v_1, v_2 \in V$ относятся к одному эталону j^* . В то же время построенное отношение R_V неявно отображает пространственную взаимосвязь базисов v_1, v_2 , т.к. его элементы взяты из одного описания. Формализуем элемент $r_V \in R_V$ как

$$r_V(v_1, v_2) = \begin{cases} 1, \arg H[(\xi_1, \zeta_1), Z(j), v_1] = \\ \{Z(j)\} \\ = \arg H[(\xi_2, \zeta_2), Z(j), v_2], \\ \{Z(j)\} \\ 0 \text{ otherwise,} \end{cases} \quad (5)$$

где аргументом таблицы эталонных описаний H есть эталон с номером j^* , ближайший в некоторой метрике для аффинных инвариантов при представлении в базисах v_1, v_2 . Иерархию отношений опишем как последовательное преобразование множеств $C \rightarrow V \rightarrow R_V$, причем мощность R_V значительно выше, чем мощность V . Компенсацию роста объема данных осуществим путем фильтрации $R_V^* = F(R_V)$, где подмножество $R_V^* \subset R_V$ имеет меньшую мощность. Представлением R_V^* , например, в виде пространственной цепочки, можно добиться существенного снижения числа элементов в построенном пространстве R_V^* . Результирующая последовательность преобразований $C \rightarrow V \rightarrow R_V \rightarrow R_V^*$ обеспечивает высокую вероятность распознавания за значительно меньшее время, чем для традиционного метода [5].

3. Рассмотрим варианты комбинированных отношений R_Z , использующих как атрибутивные, так и пространственные свойства ХП. Структура элемента данных в общем виде может быть представлена как $u^i = [v^i, \lambda^i]$, $u^i \in U$, где U — универсум, v^i отражает пространственные характеристики (например, координаты, геометрические инварианты), а λ^i — атрибут признака (например, в виде вектора детекторов SIFT, SURF). Правила вида (3), (4) для определения голосов могут быть получены здесь как путем интеграции свойств компонент в виде

$$h_j(u^i) = \begin{cases} 1, [\theta_j(v^i) \neq \emptyset] \& [\theta_j(\lambda^i) \neq \emptyset], \\ 0, \text{ otherwise,} \end{cases} \quad (6)$$

так и путем анализа пар $u^i \in U$, $u^k \in U$ или других наборов признаков путем построения отношений на U . При этом проверка истинности выражения $[\theta_j(v^i) \neq \emptyset] \& [\theta_j(\lambda^i) \neq \emptyset]$ может быть эффективно в вычислительном плане выполнена в два этапа: вначале по одному признаку, затем — по второму (подтверждение). Практика распознавания показывает, что анализ разнотипных признаков или сочетаний признаков практически всегда улучшает показатели достоверности систем распознавания [7].

2. Результаты экспериментов

Экспериментальное исследование СИМ в задаче классификации для базы изображений из 30 аквариумных рыб [1] на основе признаков с использованием отношений показало значительно лучшие характеристики достоверности классификации в сравнении с традиционными методами на основе использования одиночных признаков. В эксперименте использовалось признаковое пространство векторов SIFT на базе евклидовой метрики, порог для эквивалентности элементов описания взят как 1% от максимально возможного значения метрики. Величину достоверности будем оценивать отношением ближайшего локального максимума гистограммы голосов классов к глобальному максимуму. При применении голосования вида (3) средняя для эталонов величина этого отношения составила: для одиночного голосования — 0,87; для пар — 0,58; для триад — 0,39. Этим подтверждается эффективность сочетаний признаков на базе аппарата отношений, для пар и триад достоверность значительно лучше, а, значит, вероятность отнесения к ложному классу — ниже.

К аналогичным выводам приводит и оценка помехозащищенности к аддитивному шуму, где соотношение сигнал-шум (ССШ) оценивалось как частное от деления нормы вектора признаков на среднеквадратичное отношение шума. При действии шума обеспечивается вероятность классификации выше 0,95 для анализируемой базы при таких значениях ССШ: для одиночных признаков — 5,5, для пар — 1,4, для триад — 0,03. При этом множественные решения более устойчивы к шуму: значения ССШ для пар составили 1,4 и 4,2. Результаты зависят от выбора метрики и способа формирования признаков.

Выводы

Применение отношений при построении признаковых структурных описаний визуальных объектов позволяет повысить эффективность классификации в плане достоверности решений и помехозащищенности при влиянии шума. Впервые показано, что отношения структурных признаков представляют эффективный аппарат построения новых признаковых пространств с нужными

свойствами за счет более точного представления объекта в сформированном описании. Предложены и изучены варианты раздельного и совместного применения пространственных и атрибутивных отношений.

Практически важным результатом есть получение предпочтительных характеристик достоверности и помехозащищенности по сравнению с известными методами, что говорит о целесообразности применения разработанных методов в прикладных задачах компьютерного зрения.

Список литературы: 1. *Гороховатский, В.А.* Структурное распознавание изображений на основе моделей голосования признаков характерных точек [Текст] / В.А. Гороховатский, Е.П. Путятин // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2008. — Т. 10, № 4. — С. 75–85. 2. *Гороховатский, В.А.* Модели локально-пространственного подобию структурных описаний визуальных объектов [Текст] / В.А. Гороховатский // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. — К.: Центральний НДІ навігації і управління. — 2010. — Вип. 3(15). — С. 82–85. 3. *Гороховатский, В.А.* Распознавание изображений в условиях неполной информации [Текст] / В.А. Гороховатский. — Х.: ХНУРЭ, 2003. — 112 с. 4. *Гороховатский, В.А.* Применение отношений на множестве характерных признаков изображений при распознавании на основе голосования [Текст] / В.А. Гороховатский // Бионика интеллекта. — 2008. — №1 (68). — С. 87–93. 5. *Гороховатский, В.А.* Иерархия пространственных отношений структурных признаков в задачах сопоставления визуальных объектов [Текст] / В.А. Гороховатский // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. — К.: ЦНДІ навігації і управління. — 2008. — Вип. 3(7). — С. 85–89. 6. *Шапиро, Л.* Компьютерное зрение [Текст] / Л. Шапиро, Дж. Стокман; [пер. с англ. А.А.

Богуславского, под ред. С.М. Соколова]. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с. 7. Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение. Вып. 2. / [под ред. Д.С. Поспелова]. — М.: Наука, 1989. — 302 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2011.

УДК 004.932.2:004.93'1

Системи ознак на основі просторово-атрибутивних відношень структурних елементів зображень / В.О. Гороховатський // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 48–51.

Розглянуто принципи побудови просторів ознак для структурно-ієрархічних методів розпізнавання зображень, побудованих на основі голосування елементів. У якості основного інструменту запропоновано застосування апарату відношень. Результат розробки — модифіковані методи, що забезпечують високу ймовірність правильної класифікації у порівнянні з традиційними. Обговорюються результати експериментів з аналізу та класифікації зображень реальних об'єктів.

Бібліогр.: 7 найм.

UDC 004.932.2:004.93'1

Systems of features based on spatially-attributive relations of image structural elements / V.O. Gorokhovatsky // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 48–51.

Principles of image features construction spaces are considered in structurally-hierarchical methods of pattern recognition, based on the voting of elements. As a basic instrument the relation mechanism is offered. The results of development are the modified methods which provide high probability of correct classification in comparison to traditional. Experimental results of image analysis and classification are discussed.

Ref.: 7 items.

УДК 519.62



КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФАЗОВОГО ПОРТРЕТА ПРИ АНАЛИЗЕ ПОВЕДЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.В. Карпунин¹, А.В. Гороховатский²¹ ХНУ, г. Харьков, Украина, kav-102@yandex.ru;² ХНЭУ, г. Харьков, Украина, gorohovatsky@rambler.ru

Обсуждаются качественные методы анализа поведения нелинейных динамических систем с малым параметром. Предложен и исследован метод автоматического отнесения изображения фазового портрета к одному из эталонных видов, что реализует интеллектуальную обработку фазовых портретов в целях снижения вычислительных затрат.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ, ОСОБЫЕ ТОЧКИ, КЛАССИФИКАЦИЯ

Введение

Уровень интеллектуализации при решении сложных задач определяется специально разработанным программным обеспечением, способным поддерживать и изменять распределение функций в процессе решения [1]. Фазовые траектории дают возможность увидеть всю совокупность движений, возникающих в динамической системе [2]. Нахождение стационарных решений — особых точек и предельных циклов, исследование их устойчивости, выделение областей притяжения устойчивых стационарных режимов в фазовом пространстве является задачей качественной теории динамических систем.

Целью авторов настоящей статьи есть применение интеллектуальных методов обработки данных при теоретическом исследовании поведения динамических систем для изучения их поведения и классификации типов особых точек.

Задачи работы состоят в анализе уравнений, описывающих поведение динамических систем, применении методов распознавания образов для классификации фазовых портретов и проведении численных экспериментов для определения эффективности практического применения предлагаемого подхода.

1. Математические модели динамических систем

Рассмотрим поведение динамической системы, изменение состояния которой во времени описывается дифференциальными уравнениями [2]. Пусть дана система уравнений $\frac{dx}{dt} = X(x, y)$, $\frac{dy}{dt} = Y(x, y)$, и пусть $x = x_0$, $y = y_0$ — её особая точка, т.е. $X(x_0, y_0) = 0$, $Y(x_0, y_0) = 0$. Предположим, что эта особенность не исчезает при рассмотрении вместо системы одного уравнения $\frac{dy}{dx} = \frac{Y(x, y)}{X(x, y)}$. Пусть точка (x_0, y_0) — изолированная точка, т.е. вокруг (x_0, y_0) можно описать столь малую окрестность, что внутри неё нет других особых точек.

В окрестности особых точек решение систем дифференциальных уравнений имеет наиболее сложный и характерный вид. Закономерности,

свойственные окрестностям особых точек, определяют ход процесса в целом. Под изолированной особой точкой дифференциального уравнения вида $\frac{dy}{dx} = \frac{Y(x, y)}{X(x, y)}$ будем понимать точку, в которой значение $X(x, y)$, а, следовательно, и производной dx/dt не определены, т.е. в этих точках нарушено условие теоремы существования и единственности.

В связи с этим поставим следующие проблемы.

1. Охарактеризовать возможные топологические типы поведения интегральных кривых в окрестности изолированной особой точки.

2. Получить аналитические критерии, которые позволили бы, исходя из $X(x, y)$ и $Y(x, y)$, определить, какой тип расположения интегральных кривых имеет место для заданного уравнения либо системы уравнений.

Основой для анализа служит классификация Пуанкаре для случая системы однородных линейных уравнений [3], где решения представлены следующими четырьмя случаями: 1) корни α_1 и α_2 действительны и различны; 2) уравнение имеет кратный корень; 3) $D = 0$, т.е. уравнение линейное; 4) корни — комплексные.

Если корни имеют разные знаки, то в семействе интегральных кривых будет только две кривые, проходящие через начало. Можно представить себе вид интегральных кривых как ветви гиперболы. В этом случае особая точка $(0, 0)$ называется седлом, т.к. интегральные кривые напоминают линии уровня седлообразной поверхности (рис. 1). Если же корни имеют одинаковые знаки, то каждая кривая семейства проходит через начало координат, и все интегральные кривые касаются в начале координат, что называют узлом (рис. 1).

Когда решение представляет собой кратный корень, решения входят в начало координат и там касаются прямой $y = \alpha_0 x$ (вырожденный узел, рис. 2).

Когда $D = 0$, т.е. уравнение линейное, решение распадается на ряд подслучаев. Когда $C \neq 0$ и $B - C \neq 0$, уравнение имеет вид $x \frac{dz}{dx} = P + Qz$, где

$P = \frac{A}{C}$, $Q = \frac{B-C}{C}$. Все интегральные кривые, кроме $x = 0$, касаются прямой $y = -\frac{P}{Q}x$, называемой узлом (рис. 1). Вырожденный узел получаем, когда все интегральные кривые касаются оси y в начале координат. Если $Q = -1$; $y = -C + Px$, интегральные кривые параллельны прямой $y = +Px$. Особая точка — вырожденное седло (рис. 2).

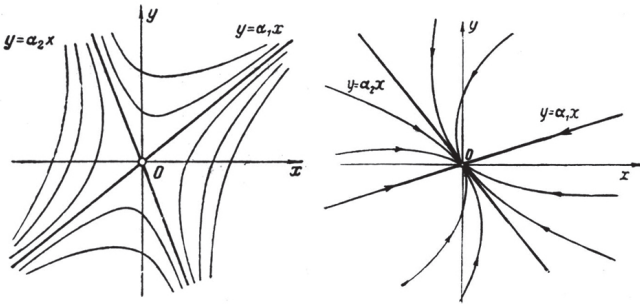


Рис. 1. Седло и узел

Если $A = 0$, то имеем уравнение $x \frac{dz}{dx} = 0$. Отсюда следует, что $x = 0$ и $z = C y = Cx$. Интегральные кривые входят в начало по всем направлениям — дикритический узел (рис. 3).

Четвертый случай — уравнение (3) имеет комплексные корни: $\alpha_1 = a + ib$; $\alpha_2 = a - ib$. Дифференциальное уравнение можно записать следующим образом:

$$x \frac{dz}{dx} = -\frac{D[(z-a)^2 + b^2]}{C + Dz}. \quad (4)$$

Интегральные кривые уравнения (4) после преобразования плоскости (x, y) превратились в семейство логарифмических спиралей. При возрастании числа оборотов по часовой стрелке кривая асимптотически приближается к точке $(0, 0)$. Эта особая точка называется фокусом (рис. 3). Если окружности остаются замкнутыми кривыми, превращаясь в эллипсы, то особая точка носит название центра (рис. 4).

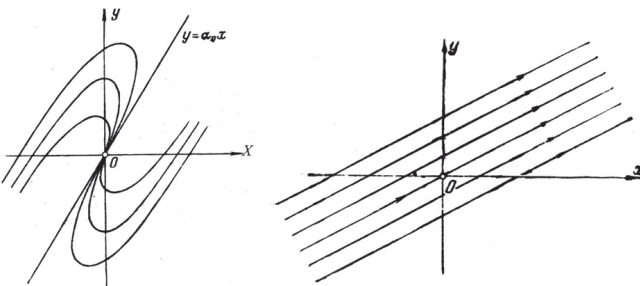


Рис. 2. Вырожденные узел и седло

На фазовой плоскости выделяют три типа фазовых траекторий: особые точки, или положения равновесия, определяемые в результате решения системы уравнений $P(x, y) = 0$, $Q(x, y) = 0$; изолированные замкнутые траектории, отвечающие

периодическим движениям в системе; сепаратрисы, разделяющие фазовую плоскость на области, заполненные траекториями разных типов. Метод фазовой плоскости состоит в построении фазового портрета системы и последующего его анализа [3]. Метод позволяет определить число, типы и характер особых точек, изолированных замкнутых траекторий и сепаратрис, и даёт возможность по виду фазовых траекторий представить всю совокупность движений, возникающих в динамической системе при всевозможных начальных условиях. Особые точки классифицируют по характеру фазовых траекторий в их окрестности: их основные типы изображены на рис. 1–3. Изолированные замкнутые траектории (предельные циклы) классифицируют по характеру их устойчивости (рис. 3–4).

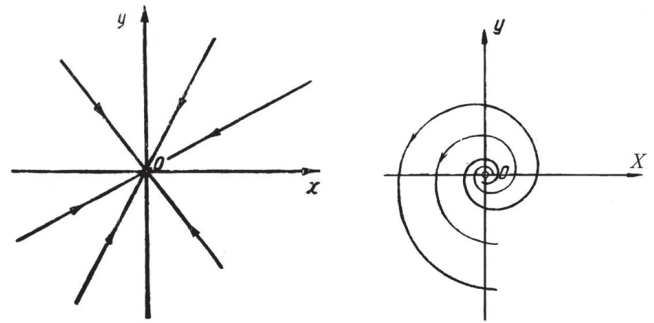


Рис. 3. Дикритический узел и фокус

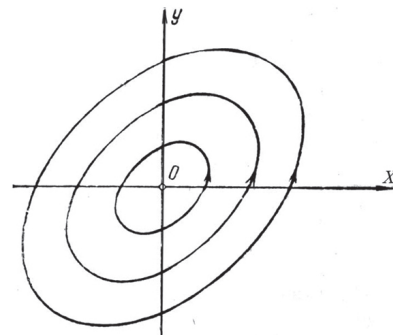


Рис. 4. Центр

2. Примеры математических моделей динамических систем

Исследование нелинейных динамических систем с малым параметром приводит к решению уравнений вида [6, 7]:

$$\begin{aligned}
 & \frac{d}{dt} \left[m(\tau) \frac{d(x \pm y)}{dt} \right] + h(\tau) \frac{d(x \pm y)}{dt} + k(\tau)(x \pm y) = \\
 & = F(\tau, \theta) + \varepsilon \Phi_1 \left(\tau, x, \frac{dx}{dt}, \frac{d^2x}{dt^2}, \frac{d^3x}{dt^3}, y, \frac{dy}{dt} \right), \quad (5) \\
 & \frac{dy}{dt} = \varepsilon \Phi_2 \left(\tau, x, y, \frac{dx}{dt} \right),
 \end{aligned}$$

где $\tau = \varepsilon t$ — «медленное» время; $m(\tau)$, $h(\tau)$, $k(\tau)$ — медленно меняющиеся параметры (медленно по отношению к периоду собственных колебаний

резонансного контура); $\theta = \int v(\tau) d\tau$; $v(\tau)$ — мгновенная частота внешнего периодического возбуждения $F(\tau, \theta)$; $\varepsilon \Phi_1$ — нелинейные полиномиальные функции.

Поскольку уравнение (5) имеет достаточно сложный вид, получить его точное аналитическое решение затруднительно. Переход от аналитического представления сложных колебательных функций к табличному представлению с заданной точностью требует, как правило, значительного дробления шага, и, следовательно, увеличения времени интегрирования. Это приводит при численном решении уравнений к значительному объему информации и не гарантирует сходимости применяемых численных методов.

Аналитическое построение асимптотических приближений ручным способом при исследовании даже простейших нелинейных цепей требует выполнения значительного объема вычислительных операций. Возникает задача четкого описания алгоритма построения приближенного решения в общем виде с тем, чтобы решение дифференциальных уравнений было реализовано в достаточно мощном специализированном математическом пакете.

Мощной системой для задач компьютерной алгебры является «Аналитик-2007» [8], с помощью которой задача приближенного решения уравнений данного класса становится вполне реальной.

Описанный в [6] алгоритм позволяет находить решение произвольного дифференциального уравнения из класса нелинейных резонансных систем в нужном приближении, что позволяет предсказывать поведение колебательных систем и влиять на него с помощью изменения параметров системы. Суть алгоритма состоит в том, что задача нахождения сложных функций сводится к более простой задаче нахождения амплитуды, фазы колебаний и постоянной составляющей автоматического смещения, причем в системах без обратной связи последнее уравнение системы отсутствует. Далее приравняются коэффициенты при одинаковых гармониках колебаний, и решается соответствующая система дифференциальных уравнений 1-го порядка. Затем по рекуррентным формулам из каждого предыдущего приближения можно получить следующее. Таким образом алгоритм находит необходимое приближение решения уравнения (5). На основе приближения строится фазовый портрет исследуемой системы, по которому выбираются начальные значения амплитуды и фазы, приводящие систему с течением времени в требуемое состояние. Полученная краевая задача может быть решена с помощью численных методов.

Область применения алгоритма не ограничивается электрическими цепями. Любая колебательная система, находящаяся под воздействием малой нелинейной силы, может быть описана с помощью приведенного выше общего уравнения. Реализация

алгоритма на языке «АНАЛИТИК-2007» позволяет значительно сократить время на анализ колебательных систем и увеличить его точность [9].

3. Классификация изображения фазового портрета

Одним из методов идентификации характера фазового пространства является автоматическое распознавание изображения фазового портрета. Распознавание выполнено с использованием проекционных признаков вида [4, 5], которые обеспечивают инвариантность к искажениям смещения, поворота и масштабирования фазового портрета.

В качестве информативной основы получения признаков использовано преобразование Радона (ПР), которое состоит в интегрировании функции яркости изображения $B(x, y)$ вдоль прямых под различными углами $\theta \in \Theta$:

$$R(p, \theta) = \iint_{x, y} B(x, y) \delta(p - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy,$$

где p — расстояние от центра координат до фиксированной линии, вдоль которой осуществляется проектирование, θ — угол поворота осей координат.

Предложено использовать систему инвариантных к искажениям смещений a_1, a_2 и масштабов α, β моментных признаков порядка k вида [4, 5]:

$$I_k^{\alpha, \beta, a_1, a_2} = \int_p (R(p, \hat{\theta}))^{k+1} (p - \frac{m_1}{m_0})^k dp / (\mu_0)^{k+1}.$$

Для построения признаков в случае присутствия поворота можно зафиксировать значение $p = \hat{p}$ и использовать несколько проекций изображения. Заметим, однако, что использование полной проекционной информации для всех значений p более оправдано из-за лучшей помехозащищенности. Инвариантными системами при наличии искажений смещений, поворота и масштабирования одновременно будут:

$$I_k^{\alpha, \beta, \varphi, a_1, a_2} = \int_{\theta \in \Theta} I_k^{\alpha, \beta, a_1, a_2}(\theta) d\theta.$$

Метод построения и сопоставления систем инвариантных признаков изображений на основе ПР и моментных инвариантов состоит из следующих этапов: выполнение ПР; определение инвариантных функционалов в зависимости от типа и сложности искажений; сопоставление с эталонными значениями на основе меры близости. Критерий принятия решений может быть сформирован как на основе агрегации всех проекций, так и с помощью процедуры голосования каждой проекции за класс, заданный эталоном.

При проведении экспериментов по классификации фазовых портретов использовано по 6 инвариантных признаков ($k=6$) для двух проекций ($\theta_1=0, \theta_2=\pi/2$) для анализа 5 фазовых

пространств. Обоснование выбора значения k подтверждено практической результативностью метода, однако, с увеличением разнообразия эталонных признаков и при наличии шумов целесообразно увеличение значения k .

Рис. 5 демонстрирует пример автоматического распознавания искаженного смещением, поворотом и масштабированием фазового изображения портрета типа «седло» (рис. 1).

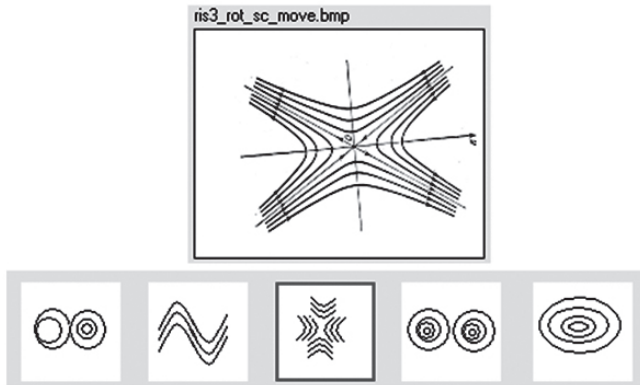


Рис. 5. Пример классификации фазового портрета «седло»

Выводы

В работе применены качественные методы анализа дифференциальных уравнений для анализа поведения нелинейных динамических систем с малым параметром. Особое внимание уделено изучению поведения интегральных кривых в окрестностях особых точек.

Авторами впервые предложен метод автоматического отнесения изображения фазового портрета к одному из эталонных классов, что позволяет выполнять задачу интеллектуальной обработки фазовых портретов без существенных вычислительных затрат и компетенций персонала в узкоспециализированной области.

Показано, что применение систем компьютерной алгебры позволяет значительно сократить время получения решений сложных дифференциальных уравнений нелинейных динамических систем.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что предложенный подход к исследованию динамических систем может быть применен не только к рассмотренным в статье нелинейным резонансным цепям, но и к широкому классу нелинейных динамических систем разной физической природы. Проведенное компьютерное моделирование подтверждает практическую целесообразность применения проекционных методов классификации.

Дальнейшим развитием предложенного подхода может быть применение методов распознавания образов для анализа более сложных топологий фазовых портретов.

Список литературы: 1. Клименко, В.П. Прикладная математическая задача как объект компьютерной алгебры [Текст] / В.П. Клименко, А.Л. Ляхов // Математичні машини і системи. — 2003. — № 3,4. — С. 103–123. 2. Андронов, А.А. Качественная теория динамических систем второго порядка [Текст] / А.А. Андронов, Е.А. Леонтович, И.И. Гордон, А.Г. Майер. — М.: «Наука», 1966. — 568 с. 3. Пуанкаре, А.О. О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями: пер. с франц. [Текст] / А.О. Пуанкаре. — М. — Л., — 1947. — 385 с. 4. Putyatin, Y. Projective methods of image recognition / Y. Putyatin, V. Gorohovatsky, A. Gorohovatsky, E. Peredriy // Intelligent Technologies and Application/ K. Markov et al. (Eds.). — Sofia: FOI ITNEA. — Information Science and Computing. — No 5. — 2008. — P. 37–43. 5. Гороховатский, А.В. Проекционные методы в задачах нормализации и распознавания изображений [Текст] / А. В. Гороховатский // АСУ и приборы автоматики. — №147. — 2009. — С. 64–70. 6. Митропольский, Ю.А. Машинный анализ нелинейных резонансных цепей [Текст] / Ю.А. Митропольский, А.А. Молчанов. — Киев: Нукова думка, 1981. — 238 с. 7. Карпучин, А.В. Проектирование нелинейных динамических систем с малым параметром с использованием численно-аналитических методов [Текст] / Ж.В. Дейнеко, А.В. Карпучин, М.В. Клименко // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник «Радиотехника», Харьков, 2007. — Вып. 149. — С. 43–51. 8. Морозов, А.А. АНАЛИТИК–2007. Сборник статей [Текст] / А.А. Морозов, В.П. Клименко, Ю.С. Фишман, Т.Н. Швалюк // Системы компьютерной алгебры семейства АНАЛИТИК. Теория. Реализация. Применение. — Киев, 2010. — С. 415–465. 9. Клименко, В.П. Реинжиниринг системы компьютерной алгебры АНАЛИТИК [Текст] / В.П. Клименко, А.Л. Ляхов, Д.М. Гвоздик // Математичні машини і системи. — 2010. — №4. — С. 18–23.

Поступила в редколлегию 26.01.2011.

УДК 519.62

Класифікація зображень фазового портрета при аналізі поведінки динамічних систем / А.В. Карпучин, А.В. Гороховатський // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 52–55.

Запропоновано метод автоматичної класифікації зображень фазового портрета на основі інваріантних ознак. Проаналізовано математичні моделі поведінки динамічних систем, розглянуто методи їх аналізу та результати комп'ютерного моделювання за класифікацією зображень інтегральних кривих поблизу особливих точок.

Іл. 5. Бібліогр.: 9 найм.

UDK 519.7

Phase portrait image classification during analysis of dynamic systems behavior / A.V. Karpuchin, A.V. Gorokhovatskyi // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 52–55.

The method of automatic phase portrait image classification based on invariant signs is offered. Mathematical models of dynamic systems behavior are analyzed, the methods of their analysis as well as results of computer experiments of classification of integral curves near-by the special points behavior image are considered.

Fig. 5. Ref.: 9 items.

УДК 004.93



МЕТОДОЛОГИЯ ВЫБОРА ПОДЧЕРКИВАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И АНАЛИЗЕ СЦЕН

М. В. Полякова¹, В. Н. Крылов², Н. П. Волкова³

¹ ОНПУ, г. Одесса, Украина, marina_polyakova@rambler.ru

² ОНПУ, г. Одесса, Украина, victor_krylov@inbox.ru

³ ОНПУ, г. Одесса, Украина, volkova_np@rambler.ru

Статья посвящена разработке методологии выбора вида и параметров подчеркивающего вейвлет-преобразования, обеспечивающей повышение качества процедуры сегментации изображений. Для этого выделен компромиссный критерий, включающий два критерия: помехоустойчивость подчеркивающего преобразования и погрешность определения координат точек границ однородных областей, значения которых оценивались с помощью выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса подчеркивающего преобразования. Определен критерий качества системы компьютерного распознавания зрительных образов, построены графики зависимости параметра преобразования от значений показателя качества подчеркивающего преобразования. С помощью данных графиков определялись интервалы значений параметра преобразования, которые учитывались в процессе принятия решения о целесообразности применения того или иного вида подчеркивающего преобразования для достижения семантической достаточности.

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОДЧЕРКИВАЮЩЕЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА СЕГМЕНТАЦИИ

Введение

При распознавании иерархических объектов и анализе сцен возникает необходимость в обеспечении требуемой достоверности распознавания на разных уровнях иерархии объектов и подобъектов. Одной из базовых процедур в системе компьютерного распознавания зрительных образов (СКРЗО) является сегментация изображений на однородные по какому-либо признаку или набору признаков области (сегменты). Целью этой процедуры является уменьшение объема обрабатываемой при распознавании информации за счет выделения границ однородных областей. Составной частью процедуры сегментации изображений является подчеркивающее преобразование (ПП), цель которого — концентрация энергии сигнала изображения вблизи границ сегментов. При распознавании иерархических объектов, т. е. имеющих структуру «объект-подобъект», а также при анализе сцен ПП позволяет выделять объекты и подобъекты требуемых геометрических размеров. Именно это преобразование определяет главным образом помехоустойчивость процедуры сегментации и погрешность выделения границ однородных областей. Требования к таким характеристикам существенно отличаются для объектов на разных уровнях иерархического представления изображения. Обеспечить эти требования можно путем выбора вида и параметров ПП. На современном этапе в методах контурной и текстурной сегментации изображений при обнаружении и локализации объектов распознавания применяются различные линейные и нелинейные ПП, в частности, вейвлет-преобразование (ВП). Существующие методологии выбора вида и параметров ВП проводят оценку качества

ПП, как правило, по результатам сегментации. Однако сегментация изображений является сложной многоэтапной процедурой, поэтому целесообразно осуществлять выбор вида и параметров ПП уже на этапе разработки метода сегментации.

Целью работы являлось формирование методологии выбора вида и параметров подчеркивающего ВП, которая обеспечивает повышение качества процедуры сегментации изображений в СКРЗО.

Предлагается методология выбора вида и параметров подчеркивающего ВП для процедуры сегментации изображений, которая включает следующие этапы:

- выбор компромиссного критерия качества ПП, использующего априорную информацию об изображении и цели обработки;
- определение критерия качества системы, на который влияет выбранный компромиссный критерий качества ПП;
- определение по заданному интервалу для значений критерия качества системы интервалов значений показателей качества ПП;
- определение анализирующих вейвлетов и модификаций ВП, применяемых для подчеркивания границ однородных областей в процедуре сегментации изображений;
- построение графиков зависимости параметра преобразования от значений показателей качества ПП для выделенных из литературы модификаций ВП и анализирующих вейвлетов;
- определение по интервалам значений показателя качества ПП интервалов значений параметра этого преобразования, обеспечивающих достижение семантической достаточности;

— принятие решения о целесообразности применения того или иного вида ПП в зависимости от того, способствует ли выделенный интервал значений параметра этого преобразования достижению семантической достаточности.

1. Постановка задачи

При формулировании предлагаемой методологии выбора ПП при сегментации изображений под критерием понимается признак, который при оценке или сравнении функционирующих объектов рассматривается как наиболее существенный. Показатель — это количественная характеристика одного или нескольких свойств объекта, определяемая при заданных параметрах. Компромиссный критерий включает в себя ряд других критериев и показателей, часто противоречивых [1].

Далее описывается реализация каждого из этапов предлагаемой методологии выбора вида и параметров подчеркивающего ВП для процедуры сегментации изображений. Прежде всего проводится анализ существующих критериев качества ПП, использующих априорную информацию об изображении и цели обработки. Подобные критерии качества ПП были введены в [2]. Они характеризуют погрешность определения координат граничных точек изображения и помехоустойчивость результата ПП.

Погрешность определения координат граничных точек изображения оценивалась с помощью показателя эффективной протяженности импульса, полученного в результате ПП изображения перепада интенсивности. Этот показатель определяется из условия двукратного уменьшения амплитуды сигнала изображения в пространстве ПП. В частности, если перепад интенсивности ориентирован на изображении вертикально, то эффективная протяженность импульса L определялась из условия $\frac{r(x,y)}{\max_{x \in [a,b]} r(x,y)} = 0,5$, где $r(x,y)$ — результат

ПП изображения перепада интенсивности, $[a,b]$ — область значений пространственной координаты x строки изображения.

Для ПП изображения, искаженного наличием шума, целесообразно применять фильтрацию. Тогда помехоустойчивость результата ПП изображения оценивается с помощью показателя выигрыша фильтра, используемого в составе ПП. Выигрышем фильтра называется величина $M = \sigma_{\text{вх}}^2 / \sigma_{\text{вых}}^2$, где $\sigma_{\text{вх}}^2$, $\sigma_{\text{вых}}^2$ — дисперсия шума на входе и выходе фильтра соответственно.

После выбора из литературы критериев качества ПП, использующих априорную информацию об изображении и цели обработки, а также соответствующих им показателей, из этих критериев составлялся компромиссный критерий качества ПП. Затем определялся критерий качества систе-

мы, на который влияют упомянутые критерии качества ПП. Заметим, что выбор вида и параметров ПП изображения относится к классу задач выбора, характеризующихся наличием неопределенности даже после проведения серии наблюдений. Данные, полученные в результате эксперимента, связаны с рассматриваемой проблемой в совокупности с другими контролируемыми факторами. Предположим, что экспериментальные данные для формализации решения задачи выбора вида и параметров ПП изображения являются статистическими. Это означает, что выборка наблюдений $(x_1, \dots, x_N)$ принадлежит множеству X всевозможных выборок, на котором задано распределение вероятностей. Это распределение различно для разных θ — закономерностей, отыскиваемых в выборке наблюдений и принадлежащих множеству Θ возможных закономерностей, на котором необходимо сделать выбор. Информация о θ содержится в выборке $(x_1, \dots, x_N)$ и проблема выбора на множестве Θ сводится к извлечению этой информации или принятию статистического решения [3].

На реализовавшееся значение выборки влияют не только искомая закономерность θ , но и случайные факторы. Результат совместного отображения θ и некоторого случайного воздействия n в пространство X представим с помощью оператора μ : $(x_1, \dots, x_N) = \mu(\theta, n)$. Пусть Γ — пространство решений, на котором производится выбор. В него входят как элементы множества Θ , так и дополнительные решения типа отказа от выбора, требования увеличить число наблюдений и т. п.

Алгоритм выбора — это действие некоторого оператора δ , называемого решающей функцией, над выборкой $(x_1, \dots, x_N)$. Каждой выборке $(x_1, \dots, x_N)$ этот оператор ставит в соответствие решение $\gamma \in \Gamma$, $\gamma = \delta(x, i)$. Аргумент i показывает, что одну и ту же выборку можно обрабатывать по-разному, получая решения разного качества, а также, что качество решения зависит от того, какие априорные предположения вошли в структуру алгоритма [3].

Под априорной понимается информация о природе наблюдений, имеющаяся до синтеза новой процедуры δ . А именно, априорные сведения характеризуют: 1) пространство решений Θ ; 2) природу случайных факторов n ; 3) оператор μ , определяющий характер взаимодействия θ и n ; 4) пространство наблюдений X ; 5) требования к качеству решений.

Статистическому синтезу алгоритма принятия решений δ предшествует выбор критерия качества решения, который зависит от полноты располагаемых априорных данных. Полное описание случайного объекта состоит в задании распределения вероятностей на множестве возможных состояний

этого объекта. Поэтому полное задание априорной информации состоит в том, что считаются известными: 1) распределение $P(\theta)$, $\theta \in \Theta$; 2) условное распределение значений выборки $F(x_1, \dots, x_N | \theta)$, $(x_1, \dots, x_N) \in X$, $\theta \in \Theta$; 3) функция потерь $I(\gamma, \theta)$, которая выражает отношение пользователя решением к расхождению между γ , т. е. тем, что он должен использовать вместо истинного θ , и состоянием θ . За меру качества решения при таком уровне априорной информации принимается среднее значение функции потерь $I(\gamma, \theta)$, связанное с конкретным решением γ , полученным при обработке выборки $(x_1, \dots, x_N)$. Эта мера качества решения называется средним риском и обозначается как

$$R(\gamma(x_1, \dots, x_N)) = M_{x, \theta} I(\gamma(x_1, \dots, x_N), \theta) = \int \int_{X \times \Theta} I(x_1, \dots, x_N | \theta) dF(x_1, \dots, x_N | \theta) dP(\theta).$$

2. Оценка достоверности распознавания объектов

По среднему риску оценивается достоверность распознавания объектов всей СКРЗО в целом. Это объясняется тем, что СКРЗО является многофункциональной системой и множество выполняемых ею функций подчинено единой цели — обеспечить требуемую достоверность принимаемого решения, т. е. требуемую достоверность распознавания объектов [4]. Например, для медицинской диагностической системы важна постановка правильного диагноза. На достоверность распознавания объектов всей СКРЗО в целом, оцениваемой по среднему риску, влияют показатели качества каждой отдельной процедуры СКРЗО. Следовательно, значение среднего риска для всей СКРЗО в целом определяется, в частности, показателями качества ПП процедуры сегментации.

Зависимости среднего риска системы от значений показателей качества ПП позволяют определить по заданному интервалу значений критерия качества системы интервалы значений показателей качества ПП, обеспечивающих достижение семантической достаточности этого преобразования.

Под множеством семантической достаточности показателя качества отдельной процедуры СКРЗО понимается множество таких его значений, при которых получено изображение, обеспечивающее требуемое значение вероятности достижения цели [5].

Далее в статье в качестве примера, иллюстрирующего предлагаемую методологию выбора вида и параметров ПП, использовалась конкретная СКРЗО — система распознавания лиц.

Для определения интервалов значений показателей качества ПП, входящих в множество семантической достаточности процедуры сегментации, строятся графики зависимости среднего риска от

значений каждого из показателей качества разрабатываемой процедуры. Зависимости среднего риска от выигрыша фильтра ПП и эффективной протяженности импульса носят характер, приведенный на рис. 1.

При малых значениях выигрыша фильтра значение среднего риска велико. Затем при увеличении выигрыша фильтра ПП значения среднего риска убывают и входят в насыщение. Это отражает тот факт, что увеличение помехоустойчивости ПП целесообразно только до некоторого значения выигрыша фильтра, после которого значения среднего риска практически не уменьшаются.

Что касается эффективной протяженности импульса ПП, то значение среднего риска велико при малых значениях этого показателя. Это соответствует случаю, когда результаты сегментации насыщены мелкими малозначащими и даже мешающими распознаванию деталями. Затем при увеличении эффективной протяженности импульса ПП значения среднего риска убывают, достигают минимума, а потом опять возрастают. Последнее связано с тем, что увеличение эффективной протяженности импульса ПП ведет к увеличению погрешности для определения координат границ однородных областей изображения и, следовательно, к увеличению среднего риска.

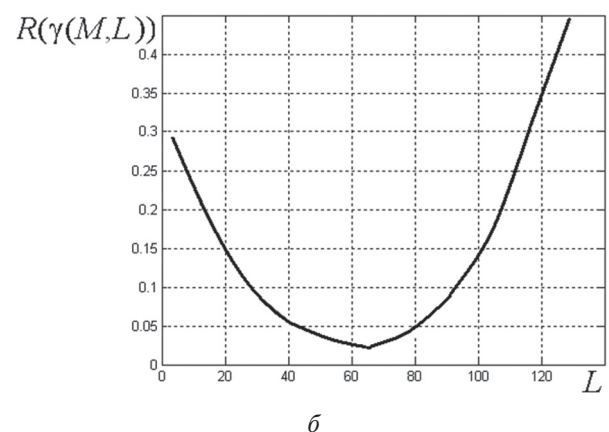
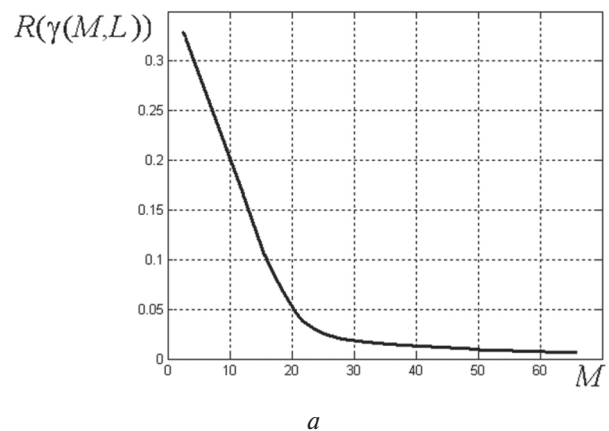


Рис. 1. Характер зависимости среднего риска $R(\gamma(M, L))$ от выигрыша фильтра ПП M (а) и эффективной протяженности импульса L (б)

Определим по заданному интервалу значений для критерия качества системы интервалы значений показателей качества ПП. График зависимости среднего риска от выигрыша фильтра ПП аппроксимируем гладкой функцией $f_M(M)$. Для нахождения максимального и минимального значений выигрыша фильтра, соответствующих заданным минимальному и максимальному значениям среднего риска, численно решаем уравнения $f_M(M) = b_{M_1}$, $f_M(M) = b_{M_2}$, где b_{M_1} , b_{M_2} — заданные значения максимального и минимального среднего риска соответственно (рис. 2).

Пример 1. Рассмотрим следующий пример нахождения максимального и минимального значений выигрыша фильтра, соответствующих заданным максимальному и минимальному значениям среднего риска. Пусть минимальное и максимальное значение среднего риска составили соответственно 0 и 0,2. Зависимость среднего риска от выигрыша фильтра представлена на рис. 1, а. Этот график аппроксимировался полиномом 3-й степени, в результате чего

$$f_M(M) = 0,3282 + 0,0032M - 0,0030M^2 + 0,0002M^3.$$

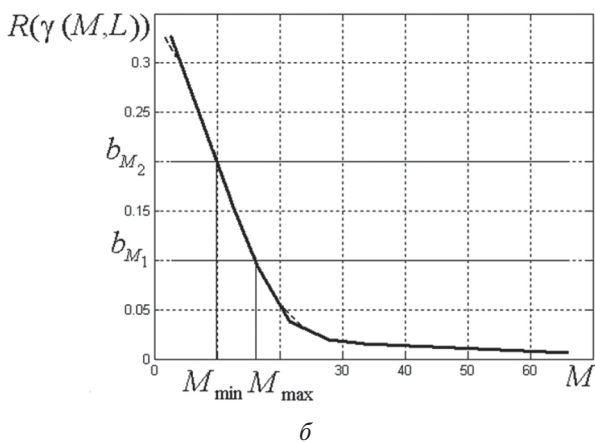
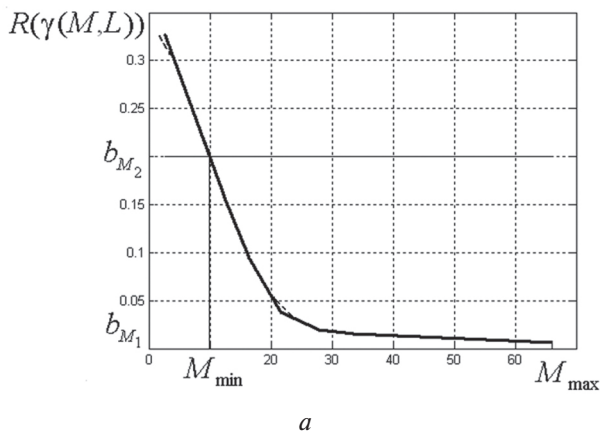


Рис. 2. Нахождение максимального $M_{\max}$ и минимального $M_{\min}$ значений выигрыша фильтра M , соответствующих различным заданным минимальному b_{M_1} и максимальному b_{M_2} значениям среднего риска $R(\gamma(M, L))$ (а, б)

После численного решения уравнений

$$0,3282 + 0,0032M - 0,0030M^2 + 0,0002M^3 = 0;$$

$$0,3282 + 0,0032M - 0,0030M^2 + 0,0002M^3 = 0,2$$

получен интервал значений выигрыша фильтра $[9,9901; 66,0990]$ (рис. 2, а).

Зависимость среднего риска от эффективной протяженности импульса на некотором интервале значений аргумента входит в насыщение, а по обе стороны от этого интервала возрастает (рис. 3). Характер возрастания среднего риска справа и слева от рассматриваемого интервала значений аргумента различен. Поэтому на графике зависимости среднего риска от эффективной протяженности импульса ПП осуществлялся поиск точки минимума. Для фрагментов графика слева и справа от найденной точки аппроксимация выполнялась отдельно с использованием функций $f_{L_1}(L)$, $f_{L_2}(L)$. Например, для зависимости с рис. 3 применялась аппроксимация полиномом 3-й степени. Затем определялись максимальные и минимальные значения эффективной протяженности импульса ПП, соответствующие заданному максимальному значению среднего риска. Для этого численно решались нелинейные уравнения $f_{L_1}(L) = b_{L_2}$, $f_{L_2}(L) = b_{L_2}$, где b_{L_2} — заданное максимальное значение среднего риска.

Заданному интервалу значений среднего риска могут соответствовать 2 интервала значений протяженности импульса ПП (рис. 3, б). Тогда дополнительно нужно численно решать уравнения $f_{L_1}(L) = b_{L_1}$, $f_{L_2}(L) = b_{L_1}$, где b_{L_1} — заданное минимальное значение среднего риска.

Пример 2. Рассмотрим пример нахождения интервалов эффективной длительности L импульса ПП, соответствующих заданному минимальному и максимальному значениям среднего риска 0 и 0,2. Зависимость среднего риска от L представлена на рис. 3, а. Минимум соответствующей кривой достигается при значениях аргумента $L = 66$. В результате аппроксимации фрагментов графика слева и справа от точки $L = 66$ были получены функции

$$f_{L_1}(L) = 0,3254 - 0,0096L - 0,0001L^2,$$

$$f_{L_2}(L) = 32,7856 - 2,0913L + 0,0547L^2 - 0,0008L^3.$$

Решая численно нелинейные уравнения

$$0,3254 - 0,0096L - 0,0001L^2 = 0,2;$$

$$32,7856 - 2,0913L + 0,0547L^2 - 0,0008L^3 = 0,2,$$

получили интервал значений эффективной протяженности импульса ПП $[12,9864; 106,9373]$ (рис. 3, а). Если минимальное значение среднего риска равно 0,1; то дополнительно численно решая уравнения

$$0,3254 - 0,0096L - 0,0001L^2 = 0,1;$$

$$32,7856 - 2,0913L + 0,0547L^2 - 0,0008L^3 = 0,1,$$

имеем интервалы значений L [12,9864; 28,3527] и [93,5824; 106,9373] (рис. 3, б).

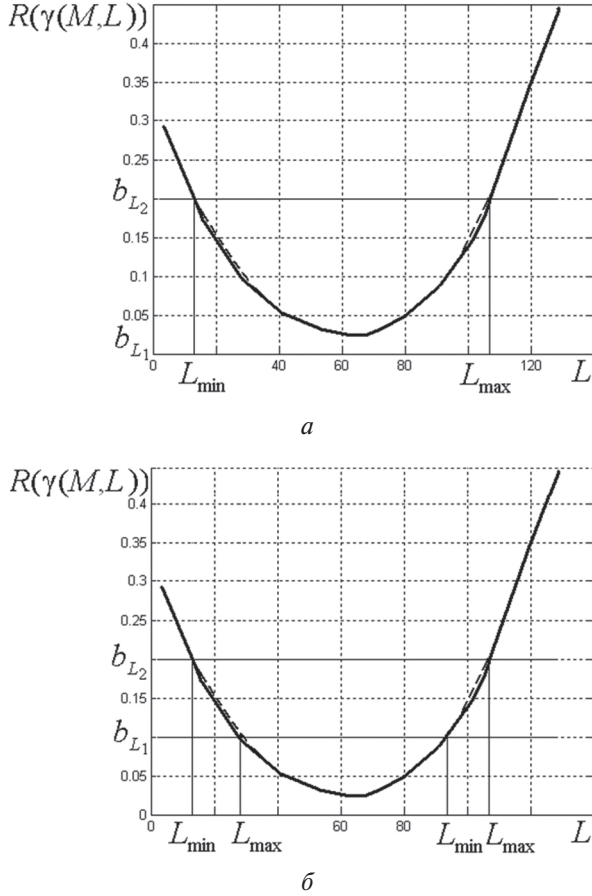


Рис. 3. Нахождение интервалов значений эффективной протяженности L импульса ПП, соответствующих максимальному и минимальному значениям среднего риска $R(\gamma(M, L))$: одного интервала (а), двух интервалов (б)

3. Определение анализирующих вейвлетов и модификаций ВП

Далее согласно предлагаемой методологии выбора вида и параметров подчеркивающего ВП определялись анализирующие вейвлеты и модификации ВП, применяемые для подчеркивания границ однородных областей в процедуре обработки изображений.

В литературе в качестве подчеркивающего преобразования в составе процедуры сегментации изображений применялись гиперболическое ВП [6], преобразование Хаара [7], свертка с гауссианом и производной гауссиана [8], а также разработанные авторами репагулярное ВП [6], ВП с использованием лифтинга и вейвлетов, полученных путем преобразований графика степенной функции [9], преобразование с обобщенными вейвлет-функциями [6].

Модифицированное гиперболическое ВП реализуется путем свертки исходного сигнала изображения с функциями

$$\psi_1\left(\frac{x}{s}\right) = \frac{1}{\pi\alpha x\sqrt{s}} G_1\left(\frac{x}{s}\right),$$

где $G_1(x) = \begin{cases} \theta(x-\varepsilon) - \theta(x-\gamma), & |x| > \varepsilon, \\ x^2 / \varepsilon, & |x| \leq \varepsilon; \end{cases}$; $\theta(x)$ — функция Хевисайда; $\varepsilon, \gamma, \alpha$ — константы; s — параметр масштаба.

Репагулярное ВП представляет свертку исходного сигнала изображения с функциями

$$\psi(x, a) = |x|^{-a} \operatorname{sgn}(x) w(x, a),$$

где $w(x, a)$ — функция окна, $w(x, a) = \begin{cases} 1, & |x|^{-a} \geq \varepsilon, \\ 0, & |x|^{-a} < \varepsilon; \end{cases}$ ε — фиксировано. Фильтры этого преобразования рассчитывались по формуле

$$\{g_a(n)\}_{n=0}^{2N_a} = \left\{ -\frac{1}{N_a^a}, \dots, -\frac{1}{4^a}, -\frac{1}{3^a}, -\frac{1}{2^a}, -1, 1, \frac{1}{2^a}, \frac{1}{3^a}, \frac{1}{4^a}, \dots, \frac{1}{N_a^a} \right\},$$

где a — параметр репагулярного ВП; $2N_a$ — количество коэффициентов фильтра.

Преобразование с обобщенными вейвлет-функциями реализуется путем свертки с функциями

$$\psi_2\left(\frac{x}{s}\right) = \tilde{\psi}_2\left(\frac{x}{s}\right) \phi(x),$$

где $\tilde{\psi}_2\left(\frac{x}{s}\right) = \frac{1}{\left(\frac{x}{s}\right)^2 + \sqrt{\frac{x}{s}}}$; $\phi(x)$ — регуляризирующая

функция, определенная в [10]; s — параметр масштаба.

ВП с использованием лифтинга и вейвлетов, полученных путем преобразований графика степенной функции, предполагает различные подходы для построения анализирующих вейвлетов в случае, когда параметр масштаба $s > 1$ или $s < 1$. В первом случае для построения вейвлет-функций применялся лифтинг. Фильтры преобразования в этом случае имеют коэффициенты:

$$g_s = \left\{ -\frac{1}{ks}, \dots, -\frac{1}{3s}, -\frac{1}{2s}, -1, 1, \frac{1}{2s}, \frac{1}{3s}, \dots, \frac{1}{ks} \right\},$$

где $k > 0$ — фиксированное целое число.

Во втором случае построение вейвлет-функций осуществлялось путем геометрических преобразований графика степенной функции. Коэффициенты соответствующих фильтров имеют вид:

$$g_s^{new} = \left\{ -\frac{1}{s \cdot k + 1}, \dots, -\frac{1}{s \cdot 2 + 1}, -\frac{1}{s + 1}, -1, \right.$$

$$1, \frac{1}{s+1}, \frac{1}{s \cdot 2+1}, \dots, \frac{1}{s \cdot k+1} \}.$$

Анализирующие вейвлеты Хаара строились на основе функции

$$h_\gamma(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\gamma_0}}, & -\gamma_0 \leq x < 0, \\ -\frac{1}{\sqrt{2\gamma_0}}, & 0 \leq x < \gamma_0, \\ 0, & x \in \left[-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right] \setminus [-\gamma_0, \gamma_0], \end{cases}$$

где $\gamma_0 \leq \frac{1}{2}$ — размер носителя функции Хаара [7].

Эта функция представляет собой импульсную характеристику фильтра, согласованного с моделью перепада значений признака сегментации. Фильтры преобразования в этом случае имеют вид:

$$h_n(x) = (\underbrace{0, 0, \dots, 0}_n, \underbrace{1, 1, \dots, 1}_n),$$

где n — количество нулей и количество единиц среди коэффициентов фильтра.

4. Экспериментальные исследования

Выделенные из литературы модификации ВП и анализирующие вейвлеты применялись для построения графиков зависимости параметра преобразования от показателей качества ПП.

Для построения графиков зависимости параметра преобразования от выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП использовалось тестовое полутонное изображение, состоящее из 256×256 элементов. В центре этого изображения находился вертикально ориентированный перепад интенсивности. На изображение перепада был наложен независимый гауссовский шум со среднеквадратическим отклонением $\sigma_{\text{вх}}$. Отношение сигнал/шум $q_{\text{вх}}$ по мощности определялось как $q_{\text{вх}} = h^2 / \sigma_{\text{вх}}^2$, где h — высота перепада интенсивности.

Для вычисления эффективной протяженности импульса, полученного в результате ПП перепада интенсивности, строка незашумленного тестового изображения подвергалась свертке с импульсной характеристикой фильтра ПП. Далее определялось максимальное значение A модуля результата преобразования. Число пикселей, результат преобразования интенсивности которых превысил по модулю $A/2$, принималось в качестве оценки эффективной протяженности импульса ПП.

Чтобы оценить выигрыш фильтра, входящего в состав ПП, зашумленное тестовое изображение подвергалось свертке с этим фильтром. Из полученного изображения вычитался результат свертки незашумленного тестового изображения с фильтром ПП. Вычислялось среднеквадратичное

отклонение $\sigma_{\text{вых}}$ значений интенсивности изображения, полученного после вычитания. Отношение сигнал/шум $q_{\text{вых}}$ по мощности определялось как $q_{\text{вых}} = S_{\text{вых}}^2 / \sigma_{\text{вых}}^2$, где $S_{\text{вых}}$ — амплитуда незашумленного тестового изображения после свертки с фильтром ПП. Выигрыш M фильтра ПП вычислялся по формуле $M = q_{\text{вых}} / q_{\text{вх}}$.

5. Анализ полученных результатов

На рис. 4-5 жирной сплошной линией представлены графики зависимости параметра ПП от выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса для каждого вида преобразования. При построении этих графиков изменялся параметр ПП в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Значения варьируемых параметров ПП

Вид ПП	Варьируемый параметр	Множество значений параметра
Репрегулярное ВП	Показатель степени a	{0,0625; 0,125; 0,18; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,65; 0,7; 0,8; 0,9; 1}
Модифицированное гиперболическое ВП	Параметр масштаба s	{0,8; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 4,5; 4,7; 5,1; 5,3; 5,5; 5,7; 5,85}
Преобразование с вейвлетами, построенными путем преобразования графика функции и лифтинга	Параметр s	{0,0001; 0,001; 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3}
Преобразование с обобщенными вейвлет-функциями	Параметр масштаба s	{0,05; 0,15; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2; 4; 8; 12; 16}
Свертка с гауссианом и производной гауссиана	Параметр масштаба σ	{0,2; 0,6; 0,8; 1; 1,5; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 10; 12; 16}
Преобразование Хаара	Размер n носителя вейвлета Хаара	{2; 20; 40; 60; 80; 100; 120; 140; 160; 180; 200; 220; 240; 256}

Полученные графики использовались для определения по интервалам значений показателя качества ПП интервалов значений параметра преобразования, обеспечивающих достижение семантической достаточности. Для этого зависимости параметра преобразования от выигрыша фильтра ВП и эффективной протяженности импульса аппроксимировались сплайнами 3-й степени по полиномам Эрмита. Далее граничные значения интервалов показателей качества ПП подставлялись в соответствующие графикам выражения аппроксимирующих зависимостей и вычислялись граничные значения интервалов параметра преобразования.

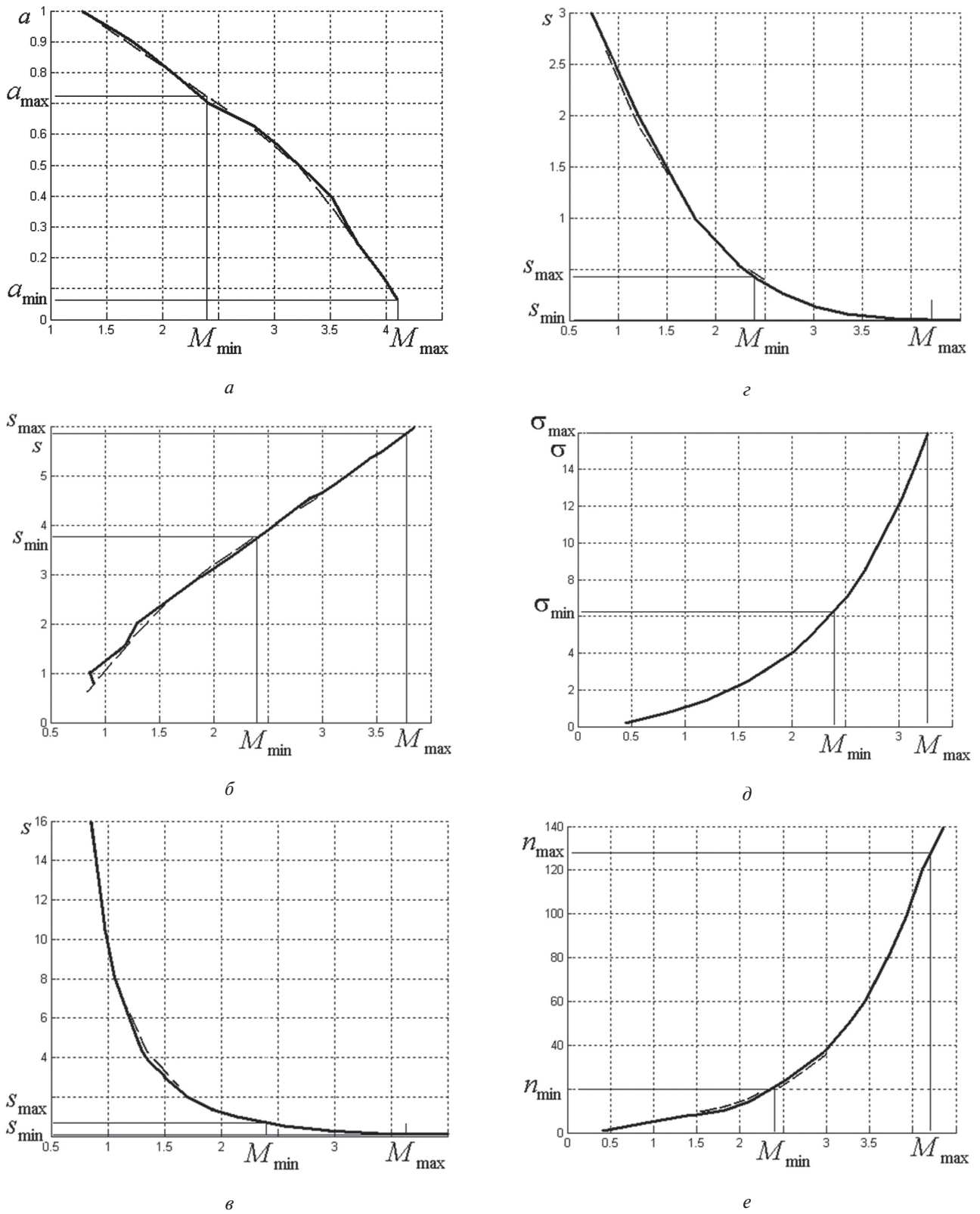


Рис. 4. Определение по интервалу $[M_{\min}, M_{\max}]$ значений выигрыша M фильтра ПП интервала значений:

- параметра a регулярного ВП $[a_{\min}, a_{\max}]$ (а);
- параметра s модифицированного гиперболического ВП $[s_{\min}, s_{\max}]$ (б);
- параметра s преобразования с вейвлетами, построенными путем преобразования графика степенной функции и лифтинга $[s_{\min}, s_{\max}]$ (в);
- параметра s преобразования с обобщенными вейвлет-функциями $[s_{\min}, s_{\max}]$ (г);
- параметра σ свертки с гауссианом и производной гауссиана $[\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$ (д);
- параметра n преобразования Хаара $[n_{\min}, n_{\max}]$ (е).

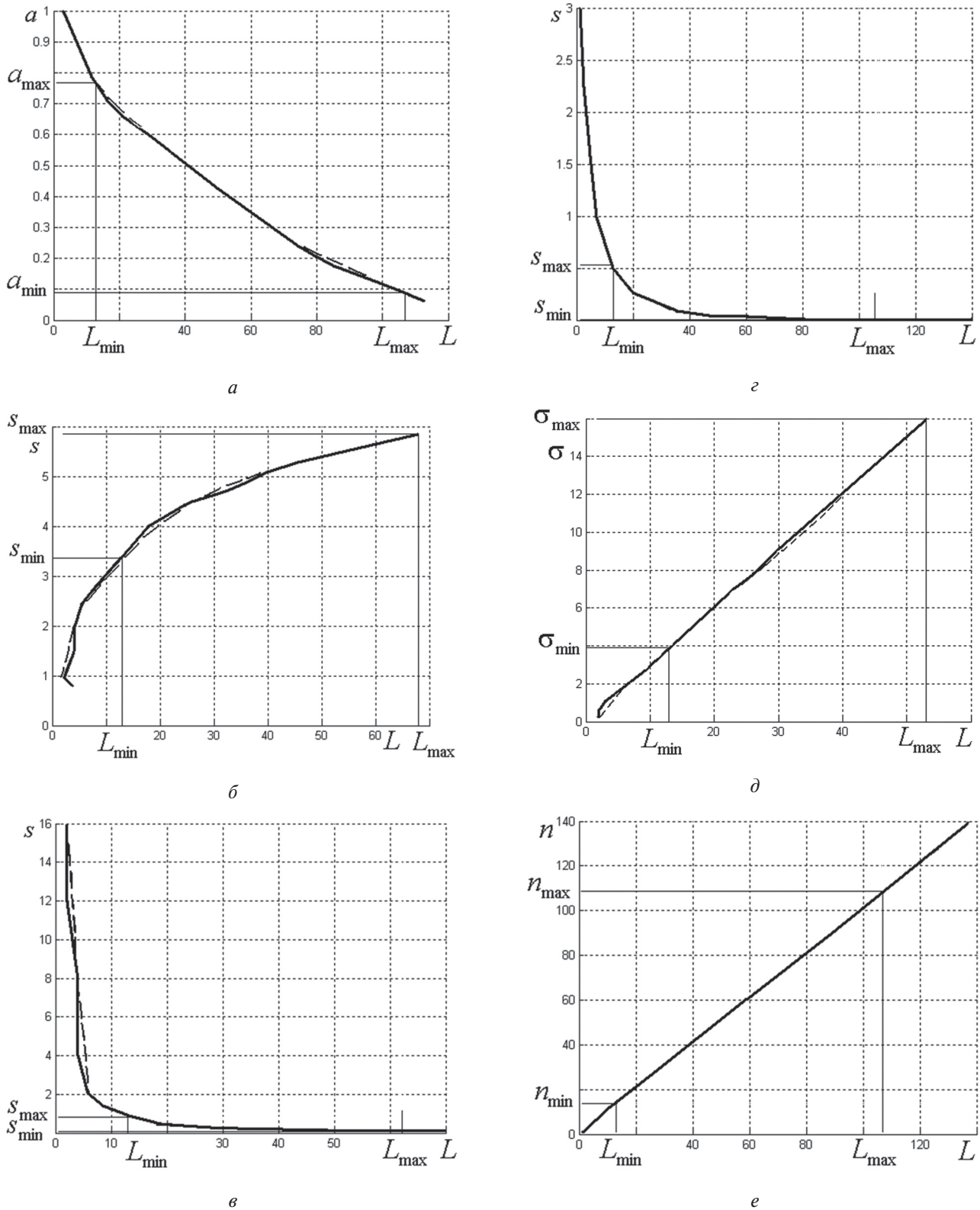


Рис. 5. Определение по интервалу $[L_{\min}, L_{\max}]$ значений эффективной протяженности L импульса ПП интервала значений:

- параметра a регулярного ВП $[a_{\min}, a_{\max}]$ (а);
- параметра s модифицированного гиперболического ВП $[s_{\min}, s_{\max}]$ (б);
- параметра s преобразования с вейвлетами, построенными путем преобразования графика степенной функции и лифтинга $[s_{\min}, s_{\max}]$ (в);
- параметра s преобразования с обобщенными вейвлет-функциями $[s_{\min}, s_{\max}]$ (г);
- параметра σ свертки с гауссианом и производной гауссиана $[\sigma_{\min}, \sigma_{\max}]$ (д);
- параметра n преобразования Хаара $[n_{\min}, n_{\max}]$ (е).

Пример 3. Рассмотрим пример вычисления интервалов значений параметра каждого вида ПП и принятия решения о целесообразности применения того или иного вида ПП для обработки изображений, характеризующихся значениями выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП, полученными в примерах 1 и 2. Исследуемые виды ПП и характеризующие их параметры приведены в табл. 1. Зависимости соответствующих параметров каждого вида ПП от выигрыша фильтра приведены на рис. 4. Каждая зависимость с рис. 4 аппроксимировалась сплайном 3-й степени по полиномам Эрмита. Полученные в примере 1 значения выигрыша фильтра подставлялись в выражения для сплайнов и вычислялись соответствующие им значения параметра ПП. Результаты аппроксимации представлены на рис. 4 пунктирной линией, получение интервалов значений параметров обозначено на графиках тонкой сплошной линией. Аналогично вычислялись интервалы значений параметров каждого вида ПП для полученных в примере 2 значений эффективной протяженности импульса ПП (рис. 5).

Интервалы значений параметров для каждого вида ПП, найденные по графикам выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения варьируемых параметров ПП

Вид ПП	Варьируемый параметр	Полученные интервалы значений параметра	Решение о целесообразности применения ПП
Регулярное ВП	Показатель степени a	[0,0891; 0,7241]	Целесообразно
Модифицированное гиперболическое ВП	Параметр масштаба s	[3,7704; 5,8500]	Целесообразно
Преобразование с вейвлетами, построенными путем преобразования графика функции и лифтинга	Параметр s	[0,0028; 0,4286]	Целесообразно
Преобразование с обобщенными вейвлет-функциями	Параметр масштаба s	[0,0500; 0,6891]	Целесообразно
Свертка с гауссианом и производной гауссиана	Параметр масштаба σ	[6,2524; 16]	Целесообразно
Преобразование Хаара	Размер n носителя вейвлета	[19,8987; 107,9373]	Целесообразно

Для принятия решения о целесообразности применения того или иного вида ПП вычислялось пересечение интервалов значений параметров, полученных по графикам выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП. Если это пересечение множеств непусто, то принималось решение о целесообразности применения рассматриваемого вида преобразования на множестве значений параметра, совпадающим с полученным пересечением множеств. В противном случае, если пересечение интервалов значений параметра ПП, полученных по графикам выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса пусто, то принимается решение о нецелесообразности применения соответствующего вида преобразования для заданного интервала значений среднего риска (см. табл. 2).

Выводы

В работе выделен компромиссный критерий, использующий априорную информацию об изображении и цели обработки. Этот критерий включает в себя два противоречивых критерия: помехоустойчивость ПП и погрешность определения координат точек границ однородных областей, значения которых оценивались с помощью показателей качества ПП: выигрыша фильтра и эффективной протяженности импульса ПП. Определен критерий качества СКРЗО, на который влияют эти критерии качества ПП. По заданному интервалу критерия качества СКРЗО выделены интервалы значений показателей качества ПП. Для модификаций ВП, применяемых для подчеркивания границ однородных областей изображения, построены графики зависимости параметра преобразования от значений показателя качества ПП. С использованием полученных графиков по интервалам значений показателя качества ПП определялись интервалы значений параметра преобразования, обеспечивающие достижение семантической достаточности. Построенные интервалы значений параметра ПП учитывались в процессе принятия решения о целесообразности применения того или иного вида ПП для достижения семантической достаточности.

Таким образом, разработана методология выбора вида и параметров подчеркивающего ВП, обеспечивающая повышение качества процедуры сегментации изображений.

Список литературы: 1. Першиков, В.И. Толковый словарь по информатике [Текст] / В.И. Першиков, В.М. Савинков. — М.: Финансы и статистика, 1991. — 543 с. 2. Полякова М.В. Оценка качества подчеркивающих преобразований для задачи сегментации изображений [Текст] / М.В. Полякова, В.Н. Крылов, Н.А. Гуляева // Бионика интеллекта. — 2010. — № 3 (74). — С. 62–69. 3. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ [Текст] / Ф.И. Перегудов

дов, Ф.П. Тарасенко. — М.: Высшая школа, 1989. — 320 с.

4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. [Текст] / С. Хайкин: Пер. с англ. — М.: ООО «И. Д. Вильямс», 2006. — 1104 с.

5. Шилейко, А.В. Введение в информационную теорию систем [Текст] / А.В. Шилейко, В.Ф. Кочетов, Ф.Ф. Химушин / Под редакцией А.В. Шилейко. — М.: Радио и связь, 1985. — 280 с.

6. Polyakova, M.V., Krylov V.N. Classification of methods of the signal semantic wavelet transform for image contour segmentation // Computing. — 2008. — V. 7, № 1. — P. 51–57.

7. Akansu A.N., Haddad R.A. Multiresolution signal decomposition. — New York: Academic Press, 2000. — 500 p.

8. Canny J.E. A computational approach to edge detection // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 1986. — № 8. — P. 679–698.

9. Polyakova M.V., Krylov V.N. Edge detection based on wavelets constructed by transforms of the graph of power function // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інтеграції: Матеріали Міжнародної наук. техн. конф. TCSET 2010 (23–27 лютого 2010 р.). — Львів-Славськ: Видавництво Національного ун-ту Львівська політехніка, 2010. — С. 270–273.

10. Гельфанд И.М. Обобщенные функции и действия над ними [Текст] / И.М. Гельфанд, Г.Е. Шилев. — Вып. 1. — М.: Государственное изд-во физико-математической литературы, 1959. — 470 с.

Поступила в редколлегию 10.02.2011.

УДК 004.93

Методологія вибору підкреслюючого перетворення при сегментації зображень ієрархічних об'єктів і аналізі сцен / М. В. Полякова, В. М. Крилов, Н. П. Волкова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 56–65.

Виділено компромісний критерій, що використовує апіорну інформацію про зображення та мету обробки. Цей критерій включає два суперечливі критерії: завадостійкість підкреслюючого перетворення і погіршеність визначення координат точок границь однорідних областей, значення яких оцінювалися за допомогою показників якості підкреслюючого перетворення: виграшу фільтру і ефективної протяжності імпульсу підкреслюючого перетворення. Визначено критерій якості системи комп'ютерного розпізнавання зорових образів, на який впливають ці критерії якості підкреслюючого перетворення. По заданому інтервалу значень критерія якості системи комп'ютерного розпізнавання зорових образів виділено інтервали значень показників якості підкреслюючого перетворення. Для модифікацій вей-

влет-перетворення, застосованих для підкреслення границь однорідних областей зображення, побудовано графіки залежності параметра перетворення від значень показника якості підкреслюючого перетворення. З використанням отриманих графіків визначалися інтервали значень параметра перетворення, що забезпечують досягнення семантичної достатності. Ці інтервали значень параметра підкреслюючого перетворення враховувалися в процесі ухвалення рішення про доцільність застосування того або іншого виду підкреслюючого перетворення. Таким чином, розроблено методологію вибору виду і параметрів підкреслюючого вейвлет-перетворення, що забезпечує підвищення якості процедури сегментації зображень.

Табл. 2. Іл. 5. Бібліогр.: 10 найм.

UDC 004.93

Methodology of choice of underlining transform for segmentation of images of hierarchical objects and analysis of the scenes / M. V. Polyakova, V. N. Krylov, N. P. Volkova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 56–65.

In the paper it is chosen a compromise criterion which use a priori information about an image and the aim of processing. This criterion includes two contradictory criteria. These are the robustness of underlining transform and the error of determining of the coordinates of the points of the homogeneous regions boundaries. The values of these criteria were estimated using the quality indexes of underlining transform. These indexes are the gain of filter and effective width of impulse of underlining transform. The quality criterion of the computer recognition system of visual patterns is detected. The quality criteria of underlining transform effect on the quality criterion of this system. The intervals of quality index value of underlining transform are selected for the given interval of quality criterion of the computer recognition system of visual patterns. For modifications of wavelet transform applied for underlining of the boundaries of image homogeneous areas the graphics of dependence of transform parameter from the quality index values of underlining transform are built. With the use of these graphics the intervals of value of parameter of underlining transform were determined which provide achievement of semantic sufficiency. These intervals of parameter value for underlining transform were taken into consideration in the process of decision-making about expedience of application one or another type of underlining transform for semantic sufficiency. Thus methodology of choice of the type and parameters of underlining wavelet transform is elaborated. This methodology provides the increasing of the quality of image segmentation.

Tab 2. Fig. 5. Ref.: 10 items.

УДК 519.7: 004.8



СЕМАНТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В СИСТЕМАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

М.В. Белоиваненко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, maxim.beloivanenko@gmail.com

В работе рассматривается проблема установления соответствия между формальным описанием ресурса и самим ресурсом. Рассматривается проблема включения описания информационных ресурсов в онтологию. Рассмотрены характеристики математической функции как информационного ресурса. Разработана структура семантической аннотации математической функции.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ АННОТАЦИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЕСУРС, ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА ЗНАНИЙ

Введение

Установление соответствия между формальным описанием предметной области и конкретными объектами этой предметной области — сложная для автоматизации задача, которая на сегодня не решена. Особенно актуальна эта проблема для формального описания математических формул, которые уже сами по себе являются формальным описанием процессов или объектов окружающего мира. Т.е. по сути, это попытка создать формальное описание формального описания.

Человеку, в силу того, что он может мыслить абстрактно и оперировать всеми имеющимися у него как эмпирическими, так и теоретическими знаниями, не сложно сопоставить необходимый формализм математического выражения с объектами реального мира (которые могут быть представлены в любом формате, в т.ч. и в формате баз данных или онтологий), к которым этот формализм возможно/необходимо применить.

Разработка сложных систем менеджмента знаний, основанных на технологиях Semantic Web (RDFS и OWL), требует реализации механизмов поддержки простейших арифметических выражений. Проблема заключается в том, что существующие средства разработки баз знаний не ориентированы на произведение числовых расчетов или алгебраических вычислений. Важным является соблюдение онтологического подхода не только при семантическом аннотировании ресурсов системы, но и при создании математических формул и их подробных описаний.

1. Аннотация как семантическое описание информационного ресурса

Существует несколько способов создания описания информационных ресурсов — схемы данных, метаданные и семантические аннотации. При том, что каждый из этих способов основан на выявлении и описании при помощи заданной нотации определенных характеристик, свойств и/или поведения ресурса, они различаются на основе принципов выбора необходимых описательных свойств.

Для включения описания информационных ресурсов в онтологию необходимо использовать семантическую аннотацию. Семантическая аннотация представляет явное описание семантики содержимого ресурса при помощи понятий семантической модели, что обеспечивает возможность установления четкого соответствия между определенной частью содержимого ресурса и его семантикой [1], описанной в семантической модели.

Семантика применения функциональных зависимостей между реальными объектами заключается в проведении анализа параметров этих объектов. Любая математическая функция (функциональная зависимость) имеет параметры, которые определяют суть ее работы и смысл, который она несет. Формальным описанием математической функции является математическое выражение — формула.

Каждая функция имеет следующие параметры:

- 1) множество допустимых значений независимых переменных (в контексте информационных систем — это допустимый диапазон входных значений);
- 2) множество допустимых значений зависимой переменной (в контексте информационных систем — это допустимый диапазон выходных значений);
- 3) закон функционирования, который определяет, каким именно образом зависимая переменная (входное значение) ставится в соответствие независимой переменной (выходному значению).

Онтология предметной области описывает ключевые понятия в ней, а также связи, которые существуют между ними. Такие связи могут быть как явными и четко формализованными, так и слабо формализованными, могут устанавливать закономерности изменения связанных объектов на качественном или количественном уровне. Однако любая связь между двумя объектами ставит в соответствие один объект другому по некоторому закону. Следовательно, для каждой связи между произвольными элементами A и B существует функция F , которая описывает эту связь.

Встроенное посредством семантической аннотации математической функции в онтологию знание о сути между объектами позволит устанавли-

вать природу происхождения тех или иных фактов предметной области, которые были получены в результате математического вычисления с использование значений параметров объектов, между которыми устанавливается отношение (рис. 1).

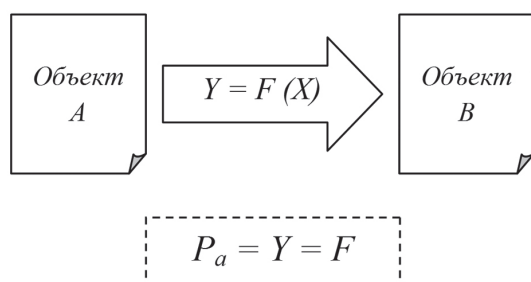


Рис. 1. Природа происхождения факта P в результате установления связи между объектами A и B

На рис. 1 показано, что связь между объектом A и объектом B описывается некой функцией $F(X)$, где X , Y – набор параметров объектов A и B , которые определяют природу связи. В результате такого взаимодействия в заданной системе становится истинным некий факт P_a . Таким образом, семантическая аннотация позволяет объяснить, на основе чего (каких именно объектов и их параметров) и каким именно путем стал истинным факт P_a .

На основании знания о назначении семантической аннотации и характере описываемого информационного объекта, предложена следующая структура семантической аннотации:

1) аннотация математической функции должна содержать семантическое описание величин (параметров), которыми оперирует аннотируемая функция;

2) аннотация должна включать характеристики классов объектов, к которым применима аннотируемая функция;

3) в аннотации должен быть определен класс связей в заданной предметной области, к которым применима аннотируемая функция;

4) аннотация должна содержать ссылки на другие семантические описания, которые характеризуют простейшие математические операции, присутствующие в аннотируемой функции, таким образом объясняя природу самой рассматриваемой функции;

5) т.к. математическая функция является внешним по отношению к рассматриваемой системе объектом, то семантическая аннотация должна содержать необходимые сведения для обращения к аннотируемой функции и ее интерпретации в рамках заданной системы.

2. Структура семантической аннотации математической функции

Для описания структуры семантической аннотации математической функции, которая является внешним по отношению к заданной онтологии

объектом, введем следующую систему ограничений:

1) φ – математическая зависимость, которая определяет отношение между одним или несколькими объектами заданной предметной области;

2) f – математическая функция, которая выражает зависимость φ в терминах заданной модели и является внешним по отношению к заданной онтологии информационным объектом;

3) K – заданная область знаний некоторой предметной области;

4) O – онтология, в которой формально представлены необходимые знания из области знаний K .

Описание параметров аннотируемой математической функции. Семантическая аннотация математической функции выделяет свойства объектов онтологии, связь между которыми определяется заданной функцией. Таким образом создаются общие знания о предметной области, которые присутствуют как в онтологии, так и в аннотации.

Задача описания параметров математической функции в семантической аннотации сводится к тому, чтобы выделить параметры объектов, которые функционально определяют связь между ними, и установить соответствие между выбранными параметрами и переменными в аналитическом описании функции.

Свойства классов онтологии, которые будут включены в семантическую аннотацию, по сути своей являются связующим звеном между аннотацией математической функции, как внешнего объекта, и онтологической структурой предметной области.

Для определения множества экземпляров онтологии, к которым будет применима аннотируемая математическая функция, требуется описать ее параметры в терминах заданной онтологии таким образом, чтобы возможно было установить четкое соответствие между параметром функции и свойством класса онтологии. Для создания такого описания параметров функции в рамках семантической аннотации необходимо описать класс объектов с такими ограничениями на свойства и значения, которые будут однозначно выделять класс связей онтологии, соответствующих отношению, которое описывает функция.

Определим следующую систему обозначений для определения информационного объекта f , который представляет собой внешний сервис, реализующий математическую функцию:

1) P – множество свойств заданной онтологии O , которые необходимы для математического выражения зависимости φ ;

2) C – набор классов заданной онтологии O , который является объединением следующих множеств:

– C_L – множество классов, между которыми существует зависимость φ ;

– C_D – множество классов, которые соответствуют области применения параметров, участвующих в математическом определении зависимости φ ;

– C_R – множество классов, которые задают допустимые значения параметров, участвующих в математическом определении зависимости φ .

К описанию множества C применимы следующие ограничения:

$$C = C_L \cup C_D \cup C_R, \quad (1)$$

$$|C_L| \geq 2. \quad (2)$$

Семантическое определение параметров аннотируемой математической функции происходит через определение их соответствия знанию, которое формально описано в онтологии предметной области.

Семантическая аннотация дает возможность создать семантические характеристики параметров математической функции на основе знания, представленного в онтологии предметной области.

Семантический профиль аннотируемой математической функции. Природа математической функции, которая описывает отношения между объектами реального мира, отличается от того, как именно понимает такое взаимодействие человек. Таким образом, возникает конфликт истинного семантического значения функции с той семантикой, которую накладывает на нее человек. Также связь между объектами реального мира часто содержит в себе набор нескольких функций, которые не только описывают, как связаны объекты, но и взаимодействуют сами. В связи с такой сложностью в определении и понимании семантики математической функции, для ее использования применительно к онтологической структуре, необходимым является создание семантического профиля функции, который хранил бы в себе все знание о ее природе и назначении.

Для эффективной реализации семантического профиля математической функции необходимо выделить более глубокое знание о природе взаимодействия компонент описываемой функции как с заданной онтологической структурой, так и между собой.

Все математические связи являются односторонними. Обратная связь устанавливается путем аналитических преобразований функции, в результате чего получается новая функция, называемая обратной заданной. При этом семантика связей объектов реального мира предполагает только двустороннее взаимодействие. Таким образом, в семантическую аннотацию математической функции необходимо включить описание симметричной или обратной функции, которая будет обеспечивать описание двусторонней связи объектов реального мира.

Включение описания обратной функции в семантическую аннотацию заданной функции задается путем создания ссылки на соответствующий информационный объект, который является аннотацией заданной симметричной функции.

Следующим критерием, который необходимо отображать в семантическом профиле функции, является внутренние ограничения самой функции. Такого рода внутренние ограничения функции в ее семантическом профиле можно описать путем отображения их через ограничения параметров информационного объекта. Однако это может быть неудобно за счет того, что такие ограничения определяют и описывают математическую природу функции, а не ее интерпретацию в реальном мире.

Описание таких ограничений функции в ее семантическом профиле возможно реализовать через соотнесение ее с более элементарными функциями, которые входят в ее состав. Это создает возможность устанавливать эквивалентность параметров сложной функции с параметрами более простых, что позволяет задать характеристики параметра более сложной функции путем наследования их от более простой (элементарной) функции. Эта процедура позволит избежать конфликта между семантикой значений параметров в реальном мире и их математическими характеристиками в формуле.

Также следует отметить, что такое описание реализует возможность объяснения того, как был получен результат функции, путем перечисления более элементарных операций над ее входными параметрами.

Следующим критерием описания функции, который необходимо включить в ее семантический профиль, является описание аннотационных свойств функции, которые включают в себя следующее:

1) описание автора или разработчика программной реализации функции, сервиса, который реализует заданную функцию;

2) словесное описание функции, ее свойств для понимания аннотации человеком и т.д.

Пусть, s – семантический профиль математической функции f , тогда

$$s = \{G, H, A\}, \quad \text{где} \quad (3)$$

– G – объединение множеств функций семантически связанных с зависимостью φ :

• $G_{\text{обратные}}$ – множество функций, которые выражают обратную зависимость к заданной зависимости φ ;

• $G_{\text{зависимые}}$ – включает в себя функции, которые явно необходимы для появления зависимости φ ;

• $G_{\text{зависящие}}$ – функции, которые не могут быть установлены без зависимости φ ;

— H — множество элементарных функций, которые содержатся в заданной f ;

— A — аннотация математической функции, которая представлена множеством упорядоченных пар типа $\langle n, v \rangle$, где

- n — терм аннотации;
- v — значение термина аннотации.

Таким образом, семантический профиль функции содержит в себе описание того, как именно и к каким значениям может быть применена функция в рамках заданной предметной области. Это дает возможность рассматривать функцию как знание, которое соотносено с конкретными объектами заданной онтологической структуры.

Информация о размещении функции в web-пространстве. Так как сама математическая функция в данной работе рассматривается как внешний по отношению к заданной онтологической структуре объект, обязательным компонентом ее семантической аннотации является указание нахождения функции в web-пространстве для обеспечения доступа к ней.

Путем задания информации о размещении рассматриваемой математической функции описывается доступ к механизму, который обладает знанием, заключенным в функции, и может его интерпретировать.

Функция, как внешний по отношению к заданной онтологии информационный объект, не может оперировать понятиями онтологии. Поэтому для реализации обращения к нему входные параметры должны быть представлены в его внутреннем формате. Таким образом, семантическая аннотация математической функции должна хранить символическую запись входной строки параметров функции, которая будет соответствовать внутренней реализации информационного объекта, который определяет заданную математическую функцию.

Необходимым является указание в аннотации типа объекта, т.е. определение механизма, при помощи которого была реализована заданная функция, и указание адреса расположения информационного объекта, который реализует математическую функцию, и точки доступа к нему.

Обозначим I — информацию о размещении математической функции. Параметр I содержит в себе следующие компоненты:

— M — перечень сопоставления свойств p_i из множества P с параметрами функции f , который представлен в виде упорядоченной пары $\langle p, q \rangle$, где

- p — идентификатор свойства;
- q — символьная запись параметра;

— t — способ реализации математической функции f ;

— d — адрес или идентификатор сервиса, который реализует функцию f .

Таким образом, семантическая аннотация дает возможность создать семантические характеристики параметров математической функции на основе знания, представленного в онтологии предметной области.

Выводы

Разработанная модель семантической аннотации математической функции позволяет создавать дополнительные знания в заданной онтологии относительно природы связи между двумя или несколькими объектами. Причем аннотация создается по принципу черного ящика, т.е. в ней описаны только внешние аспекты функции, и остается без внимания ее внутреннее устройство и принцип работы. Разработанная структура аннотации позволяет проводить ее автоматическую обработку в модели онтологии для установления новых, выведенных фактов (знаний). Структура семантической аннотации позволяет: при наличии заданной связи и соответствующей ей аннотации — возможность вычисления недостающих значений параметров путем выполнения вычислений; при наличии всех значений параметров, входящих в функцию — возможность установления соответствующей связи. Проблема использования аннотации заключается в том, что зависимость обычно существует между двумя и более объектами, что не позволяет использовать простые спецификации онтологии.

Список литературы. 1. Semantic Annotation [Электронный ресурс] / Ontotext. KIM. — Режим доступа: [www / URL: http://www.ontotext.com/kim/semanticannotation.html](http://www.ontotext.com/kim/semanticannotation.html).

Поступила в редакцию 18.02.2011.

УДК 519.7: 004.8

Семантична анотація математичних функцій в системах інтелектуальної обробки інформації / М.В. Білоіваненко // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 66–69.

Для розширення онтологічних баз знань знаннями, які містяться у зовнішніх інформаційних об'єктах, необхідно створювати семантичні анотації цих об'єктів. Розглянуто характеристики математичної функції як інформаційного об'єкту. Розроблена структура семантичної анотації математичної функції.

Л. 1. Бібліогр.: 1 найм.

UDC 519.7: 004.8

Semantic annotation of mathematical functions in intelligent information processing systems / M.V. Bilovanenko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 66–69.

For the expansion ontological base of new knowledge that located in external informational objects, it is necessary to create semantic annotation these objects. Consider the characteristics of mathematical function as a informational objects. Developed the structure of the semantic annotation for the mathematical function.

Fig. 1. Ref.: 1 items.

УДК 004.81



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОГНИТИВНОГО СТИЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР НА ОСНОВЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ВТОРОГО ТИПА

Т.Г. Петренко¹, О.С. Тимчук²¹ДонНУ, Донецк, Украина, timoti@dongu.donetsk.ua²ДонНУ, Донецк, Украина, o.s.timchuk@gmail.com

Предлагается модель определения когнитивного стиля игрока компьютерной игры «шашки» (Cognitive Style Model, CSM) с помощью дискретной интервальной нечеткой модели второго типа. Определение когнитивного стиля основано на стилевой системе Д.Уорделла и Дж.Ройса, которая описывает связи между стилями. Использование выявленного когнитивного стиля позволяет формировать действия компьютера при игре подобно человеку.

КОГНИТИВНЫЙ СТИЛЬ, ИНТЕРВАЛЬНАЯ НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ВТОРОГО ТИПА, ПРОТОТИП, СТРАТЕГИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИГРЫ

Введение

На современном этапе усилия разработчиков компьютерных игр нацелены на формирование сложного поведения компьютерных персонажей. Пользователи компьютерных игр хотят, чтобы компьютерные персонажи действовали подобно поведению человека. Однако описание поведения игрока-человека без использования методов искусственного интеллекта сводится к представлению поведения довольно примитивными схемами.

В основу существующих моделей поведения компьютерных персонажей положены следующие алгоритмы искусственного интеллекта: генетические алгоритмы, обучающиеся системы классификаторов, конечные автоматы, обучение с подкреплением, методы Монте-Карло, нейронные сети [1-4]. Все перечисленные методы позволяют наделить компьютерные персонажи развивающимся интеллектом. Благодаря дополнительным знаниям компьютерные персонажи могут действовать на уровне игрока-человека. Для адаптации компьютерных персонажей к изменению состояния игрока-человека требуется предоставление компьютерному персонажу знаний о степени освоения игрового процесса пользователем. Данные знания характеризуются нечеткостью, которую перечисленные выше методы отображают недостаточно. В настоящей работе впервые предлагается формировать знания компьютерного персонажа с помощью интервальной нечеткой модели второго типа [5]. Построение модели определения когнитивного стиля в работе основано на стилевой системе Д.Уорделла и Дж.Ройса [6], которая описывает связи между стилями. Традиционно когнитивные стили рассматриваются как пара противоположных полюсов. В процессе обучения стиль игрока-человека может изменяться и переходить из одного полюса в другой или оставаться нейтральным. Определение когнитивного стиля игрока в период смены полюса является сложной задачей, так как нет четких границ, разделяющих полюса и выделяющих нейтральную зону. Поэтому для решения

данной задачи предлагается интервальная нечеткая модель второго типа, которая в отличие от нечеткой модели первого типа, позволяет учесть неопределенность функций принадлежности.

1. Постановка задачи

Построить и реализовать программно модель определения когнитивного стиля игрока компьютерной игры «шашки» (Cognitive Style Model, CSM). В работе реализованы классические русские шашки: доска 8x8 клеток, у игрока - 12 шашек в три ряда, цель игры – заблокировать или убрать с доски все шашки противника. CSM предлагается использовать для придания компьютерному персонажу поведения, подобного поведению игрока-человека.

2. Решение задачи

Для определения когнитивного стиля в CSM выполнен анализ действий игрока-человека на игровом поле игры «шашки». Игрок во время игрового процесса обучается правилам игры, применяет различные стратегии и выбирает разные прототипы игры. По мере обучения игрок-человек более осознанно меняет стратегии, при этом уменьшается время реакции игрока-человека и количество невыгодных ходов. Программно анализируя данную информацию, можно выделить нечеткие когнитивные характеристики игрока, на основе которых определяется его когнитивный стиль. Исходными данными для анализа являются: текущая ситуация на игровом поле, текущий прототип игры, стратегия и время реакции игрока-человека.

Прототип в CSM рассматривается как абстрактный образ, который воплощает множество сходных форм одного и того же паттерна и фиксирует его типичные свойства. В рассматриваемой предметной области были выделены следующие классы прототипов: «обязательный бой» (P1), «ход без потери» (P2), «потеря шашки» (P3). В каждом классе прототипа игрок может применять некоторые стратегии решения задачи, а именно: «захват шашки соперника» (A), «отдача своей шашки в обмен на две и более шашек соперника» (B), «за-

щита зоны превращения в дамки» (С), «стратегия примыкания к стенкам» (D), «продвижение к линии превращения в дамки» (E), «продвижение по туннелю» (F), «обмен шашками (стратегия навязывания)» (G), «защита своей шашки» (H). Применение той или иной стратегии для достижения цели в каждом классе прототипов характеризуется длительностью хранения информации в оперативной памяти игрока и сохранением материала в долговременной памяти игрока.

Программная реализация модели CSM позволяет компьютерному персонажу получить знания о когнитивном стиле игрока-человека. Исходя из полученной информации, компьютерный персонаж формирует свою стратегию игры. Задача формирования стратегии компьютерного персонажа может решаться разными способами. В работе предлагается выявить стиль игрока-человека, а стиль компьютерного персонажа строить на основе противоположного стиля [6]. Для этого программно собирается статистика по каждому этапу игрового процесса пользователя и фиксируется информация о характеристиках когнитивного стиля игрока-человека.

Модель программы (рис. 1) состоит из: модели отображения поля игры «шашки», модели анализа действия пользователя и модели CSM.

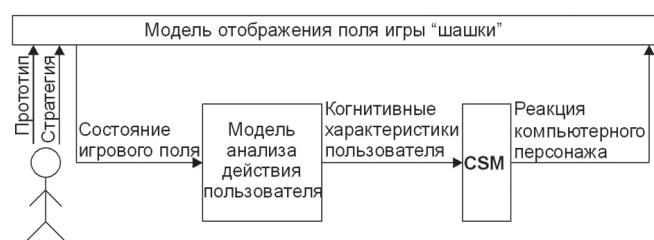


Рис. 1. Модель программы

CSM представлена в виде иерархической схемы нечеткого вывода [7], так как когнитивный стиль, согласно системе Д.Уорделла и Дж.Ройса, формируется как многомерная зависимость (рис. 2). В CSM выполняется нечеткий вывод по алгоритму Mamdani для промежуточных переменных с последующей передачей полученных параметров в нечеткие системы следующего уровня иерархии.

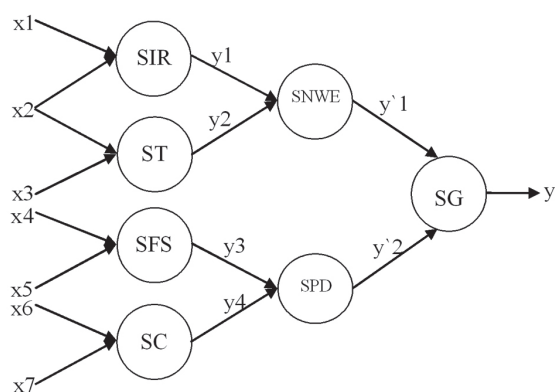


Рис. 2. Иерархическая схема нечеткого вывода

CSM реализует вычисление общего когнитивного стиля (SG) на основе вычисления стилей:

1. SIR – импульсивность – рефлексивность;
2. ST – толерантность к нереалистическому опыту;
3. SFS – фокусирующий – сканирующий контроль;
4. SC – узость – широта категории;
5. SNWE – узкий – широкий диапазон эквивалентности;
6. SPD – полезависимость – полнезависимость.

На первом уровне иерархии модели CSM определяются когнитивные стили, представляющие устойчивые черты, которые оказывают влияние на способ организации когнитивных и аффективных процессов. Входные нечеткие переменные $x_1, \dots, x_7$ описывают характеристики когнитивных стилей: x_1 – время реакции, x_2 – неудачные решения, x_3 – активный вид памяти, x_4 – широта охвата игрового поля, x_5 – выгодность действия, x_6 – уровень категоризации, x_7 – сходство выбираемых ситуаций.

На втором уровне иерархии модели CSM определяются когнитивно-аффективные стили игрока-человека. Входные нечеткие переменные $y_1, \dots, y_4$ характеризуют аффективные стили пользователя: y_1 – генерация гипотез, y_2 – реакция на неопределенность, y_3 – распределение внимания, y_4 – ограничение категорий.

На выходе модели CSM определяется общий когнитивный стиль игрока-человека, который формирует стиль мышления. Входные нечеткие переменные y'_1, y'_2 характеризуют когнитивно – аффективные стили пользователя: y'_1 – интенсивность внимания, y'_2 – селективность внимания.

В каждом из перечисленных уровней модели CSM значение выходной переменной формируется с помощью интервальной нечеткой логической системы второго типа, которая содержит нечеткую базу правил (набор правил ЕСЛИ – ТО), фаззификатор, механизм нечеткого логического вывода и блок понижения типа [5].

Фаззификация осуществляется с помощью интервальных дискретных множеств второго типа $\tilde{A}$, которые определены на универсуме U в виде [5]:

$$\tilde{A} = f_{\tilde{A}}(u_1)/u_1 + f_{\tilde{A}}(u_2)/u_2 + \dots + f_{\tilde{A}}(u_n)/u_n,$$

где $f_{\tilde{A}}(u) = \underline{\mu}_{\tilde{A}}(u), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(u)$; $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(u), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(u)$ – “нижняя” и “верхняя” границы функции принадлежности второго типа, являющиеся функциями принадлежности первого типа и характеризующими “отпечаток неопределенности”; $f_{\tilde{A}}(u): U \rightarrow [0,1], f_{\tilde{A}}(u_r)$ ($r = \overline{1,n}$) – степень принадлежности элемента u_r “нижней” и “верхней” функциям принадлежности нечеткого множества второго типа.

Рассмотрим, на примере, блок вычисления стиля “SIR” модели CSM, который описывается вход-

ными лингвистическими переменными $\langle x_1, T_1, U_1 \rangle$, $\langle x_2, T_2, U_2 \rangle$ и выходным — $\langle y_1, T_3, U_3 \rangle$.

Лингвистическая переменная x_1 — “время реакции” (рис. 3а) зависит от активного вида памяти пользователя. Согласно трехкомпонентной модели памяти выделяют следующие виды памяти: кратковременная, рабочая, долговременная. Так как процессы памяти подчиняются нормальному закону распределения [8], то первичные функции принадлежности термов лингвистической переменной x_1 формируются в CSM с использованием гауссовского распределения. Лингвистическая переменная x_1 состоит из трех термов:

$$T_1 = \{ \text{"быстрое"}, \text{"среднее"}, \text{"длительное"} \}$$

$$U_1 = [0, 1]$$

Лингвистическая переменная x_2 — “неудачные решения” (рис. 3б) характеризует количество допущенных ошибок при решении задачи. Под ошибкой в работе понимается нерациональный выбор прототипа или неверно применяемая стратегия решения задачи. Величина x_2 определяется на основе собранной статистики по конкретному пользователю. Для определения значения термов лингвистической переменной x_2 используются первичные трапециевидные функции принадлежности. Лингвистическая переменная x_2 состоит из трех термов:

$$T_2 = \{ \text{"малое"}, \text{"среднее"}, \text{"большое"} \}$$

$$U_2 = [0, 1]$$

Рассмотрим лингвистическую переменную y_1 — «генерация гипотез». Любой когнитивный стиль представляет собой биполярное измерение. Отнесение испытуемого к одному из двух полюсов того или иного когнитивного стиля осуществляется на основе такого критерия, как медиана. Традиционно все показатели слева $[0; 0,5)$ от медианы идентифицируются как один полюс данного когнитивного стиля, справа $(0,5; 1]$ — как другой его полюс. Кроме того, у некоторых пользователей может наблюдаться нейтральность $[0,5]$, то есть когнитивный стиль не принадлежит ни одному из полюсов. Лингвистическая переменная y_1 состоит из трех термов, характеризующих стиль генерации гипотез при решении задачи:

$$T_3 = \{ \text{"импульсивность"}, \text{"нейтральность"}, \text{"рефлексивность"} \}$$

$$U_3 = [0, 1]$$

Первичные функции принадлежности термов “импульсивность” и “рефлексивность” имеют вид сигмоидной кривой, так как значения данных термов практически на всей области их определения равны единице и плавно стремятся к нулю в области медианы. Функция принадлежности термина “нейтральность” формируется с использованием гауссовского распределения, так как нейтраль-

ность стиля может быть явно не выражена и с равной уверенностью отклоняться к одному из полюсов (рис. 3в).

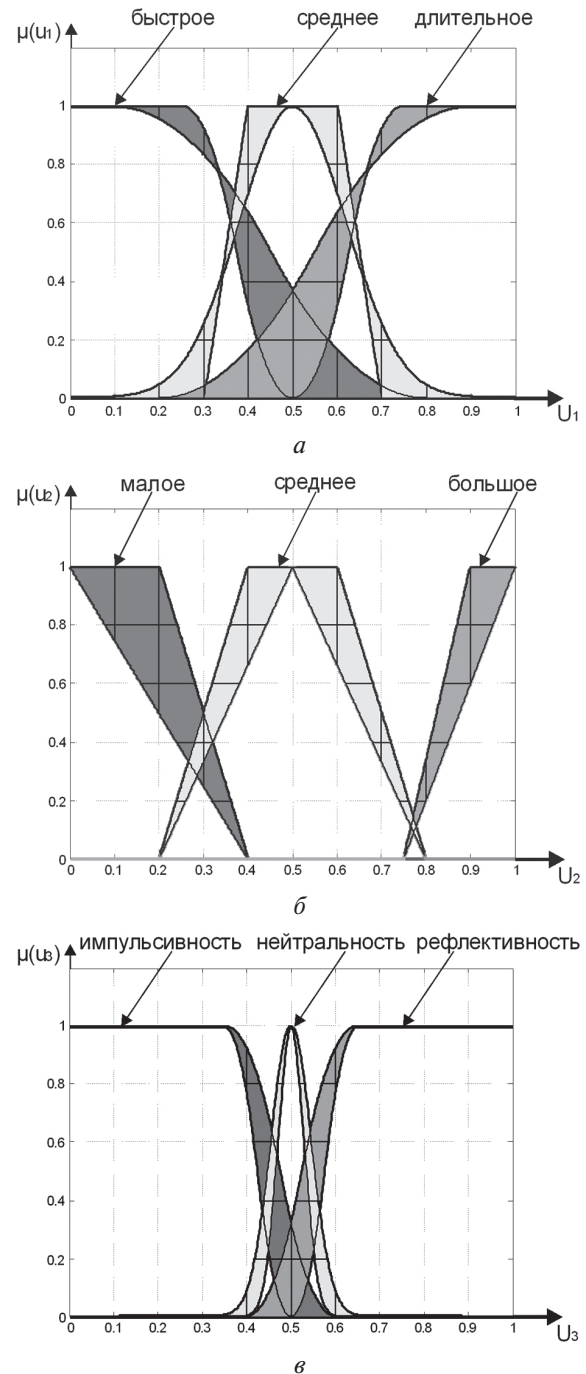


Рис. 3. Функции принадлежности лингвистических переменных подсистемы “SIR”: а — лингвистическая переменная x_1 , б — лингвистическая переменная x_2 , в — лингвистическая переменная x_3

Использование в работе нечетких множеств второго типа позволяет учесть дополнительные экспертные знания о нечетких когнитивных характеристиках игрока-человека. Рассмотрим, например, терм «импульсивность» лингвистической переменной y_1 . Традиционно испытуемый относится к данному стилю при $U_3 \in [0; 0,5)$, но стили взаимодействуют между собой и в некоторых случаях мо-

гут переходить из одного полюса в другой. В таком случае в зоне «нейтральность» наблюдается размытие функции принадлежности нечеткого множества первого типа «импульсивность». Тогда определенному значению U_3 уже не будет соответствовать четкое значение функции принадлежности нечеткого множества первого типа «импульсивность». Для решения этой проблемы при описании когнитивных характеристик игрока-человека в работе используются нечеткие множества второго типа.

Нечеткая база знаний подсистемы “SIR” содержит 9 правил следующей формы

$$Ri: \text{ЕСЛИ } x1 = \tilde{F}_1^i \text{ и } x2 = \tilde{F}_2^i, \text{ то } y1 = \tilde{G}^i, i = \overline{1,9}, \quad (1)$$

где $\tilde{F}_1^i, \tilde{F}_2^i, \tilde{G}^i$ — интервальные нечеткие множества второго типа.

Правило (1) описывает отношения второго типа между входными пространствами $x1, x2$ и выходным пространством $y1$.

Рассмотрим подробнее базу правил для подсистемы “SIR”:

R1: Если $x1$ = малое и $x2$ = быстрое, то $y1$ = импульсивность;

R2: Если $x1$ = малое и $x2$ = среднее, то $y1$ = нейтральность;

R3: Если $x1$ = малое и $x2$ = длительное, то $y1$ = рефлексивность;

R4: Если $x1$ = среднее и $x2$ = быстрое, то $y1$ = импульсивность;

R5: Если $x1$ = среднее и $x2$ = среднее, то $y1$ = нейтральность;

R6: Если $x1$ = среднее и $x2$ = длительное, то $y1$ = рефлексивность;

R7: Если $x1$ = большое и $x2$ = быстрое, то $y1$ = импульсивность;

R8: Если $x1$ = большое и $x2$ = среднее, то $y1$ = нейтральность;

R9: Если $x1$ = большое и $x2$ = длительное, то $y1$ = рефлексивность.

Формирование лингвистических переменных и базы правил для остальных уровней модели определения когнитивного стиля осуществляется аналогичным способом.

Дефазифицированное значение выходного значения уровней модели определяется методом центра тяжести.

3. Анализ результатов

В игре «шашки» стратегия компьютерного персонажа классически формируется с помощью метода полного перебора. Сложность игры корректируется коэффициентом глубины перебора (коэффициент выбирается пользователем или определяется автоматически). Формирование стратегии компьютерного персонажа на основе такого подхода приводит к однотипности игрового процесса (компьютерный персонаж всегда «сильнее» игрока-человека, ис-

ключается возможность выбора ошибочной стратегии компьютерным персонажем).

В работе для решения этого недостатка программно реализована игра «шашки» на основе построенной модели CSM. На каждом этапе игрового процесса прототип и стратегия для компьютерного персонажа формируется с учетом результата работы CSM. Таким образом, стратегия поведения компьютерного персонажа разработана с учетом когнитивного стиля игрока-человека, а стиль человека может изменяться во время игры при более глубоком освоении правил игры. Такой способ формирования стратегии компьютерного персонажа позволяет менять заранее спланированный сценарий игры в зависимости от индивидуальных возможностей игрока-человека.

Каждый этап игры программно фиксируется в файле протокола игрового процесса. Файл протокола имеет следующую структуру: стратегия, прототип, когнитивный стиль игрока-человека, прототип и стратегия компьютерного персонажа (модель CSM), прототип и стратегия компьютерного персонажа при использовании метода полного перебора.

На основании протокола игрового процесса (табл. 1) экспертом был выполнен анализ динамики настройки общего когнитивного стиля пользователя (рис. 4).

Таблица 1

Фрагмент протокола игрового процесса

Стратегия, прототип, стиль	Этапы игры		
	1	2	3
Стратегия игрока-человека	C	F	D
Прототип игрока-человека	P2	P1	P2
Когнитивный стиль игрока-человека	Эмпири- ческий	Эмпири- ческий	Рацио- нальный
Прототип и стратегия компьютерного персонажа	P2, D	P3, B	P2, C
Прототип и стратегия компьютерного персонажа (метод полного перебора)	P2, F	P3, B	P2, E

В работе для проведения анализа динамики изменения когнитивного стиля игрока-человека программно реализован прототип и стратегия игры компьютерного персонажа методом полного перебора. Такой подход всегда находит наиболее выгодное решение для компьютерного персонажа. Проведенный анализ действий компьютерного персонажа показал, что формирование прототипа и стратегии персонажа с помощью CSM влияет, в свою очередь, на неустойчивый когнитивный стиль игрока, что не характерно для метода полного перебора. Изменение когнитивного стиля игрока характеризуется повышением интереса к игре, потому что устраняется недостаток однотипности игры и у пользователя появляется ощущение игры с противником — человеком, а не с компьютерным персонажем.



Рис. 4. Динамика изменения общего когнитивного стиля

Из рис. 4 следует, что во время игры по модели CSM общий когнитивный стиль пользователя изменяется. При использовании метода полного перебора стиль изменяется незначительно и все время находится в области отрицательного полюса. Отсюда можно сделать вывод, что рассматриваемый стиль является неустойчивым (в процессе обучения может изменяться) и что компьютерный персонаж позволяет выполнить его настройку.

Выводы

В работе с помощью дискретной интервальной нечеткой модели второго типа построена модель CSM для компьютерной игры «шашки». Данная модель предоставляет расширенные возможности для определения стиля игрока-человека по сравнению с моделью на основе нечетких множеств первого типа. Однако модель CSM требует более высоких вычислительных затрат.

Эффективность использования предложенного подхода подтверждена экспериментально при программном формировании прототипа и стратегии компьютерного персонажа в разработанной игре «шашки» на основе модели CSM. Результаты экспериментов показали, что наблюдается формирование признаков адаптивного обучения у компьютерного персонажа. При этом неустойчивый когнитивный стиль игрока-человека под воздействием изменяемого стиля компьютерного персонажа также меняется. Механизм взаимного влияния когнитивных стилей игроков позволяет строить «стиль мышления» компьютерного персонажа подобно стилю игрока-человека.

Разработанная модель CSM подтверждает гипотезу о возможности использования нечетких множеств второго типа в решении когнитивных задач, так как вторичные функции принадлежности позволяют выполнять тонкую настройку когнитивных показателей.

Список литературы: 1. Lucas S.M. Computational Intelligence and AI in Games: a New IEEE Transactions / S.M. Lucas // IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games (2009). — Режим доступа: <http://csee.essex.ac.uk/staff/lucas/tciaig/editorial.pdf>. — Дата доступа: 15.10.2010.

2. Miikkulainen R., Bryant B.D., Cornelius R., Karpov I.V. Computational Intelligence in Games / R. Miikkulainen, B.D. Bryant, R. Cornelius, I.V. Karpov // 2010 IEEE WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE. — Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.896&rep=rep1&type=pdf>. — Дата доступа: 15.10.2010. 3. Yannakakis G. An evolutionary approach for interactive computer games / G. Yannakakis, J. Levine, J. Hallam // In Evolutionary Computation, CEC2004. Congress on Evolutionary Computation. — 2004. — Vol. 1. — P. 986–993. 4. Шампандар, А.Дж. Искусственный интеллект в компьютерных играх: как обучить виртуальные персонажи реагировать на внешние воздействия [Текст] / А.Дж. Шампандар. — М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2007. — 768 с. 5. Mendel Jerry M. Standart Background Material About Interval Type – 2 Fuzzy Logic Systems / Jerry M. Mendel, H. Nagra, Robert I. John // Department of Electrical Engineering University of Southern California. — Режим доступа: http://iee-cis.org/_files/standards.t2.win.pdf. — Дата доступа: 15.10.2010. 6. Холодная, М.А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума [Текст] / М.А. Холодная. — СПб.: Питер, 2004. — 384 с. 7. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С.Д. Штовба. — М.: Горячая линия - Телеком, 2007. — 288 с. 8. Солсо, Р. Когнитивная психология [Текст] / Р.Солсо. — СПб.: Питер, 2006. — 589 с.

Поступила в редколлегию 23.02.2011.

УДК 004.81

Визначення когнітивного стилю користувачів комп'ютерних ігор на основі інтервальної нечіткої моделі другого типу / Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 70–74.

У роботі пропонується модель визначення когнитивного стилю гравця комп'ютерної гри «шашки» (Cognitive Style Model, CSM) за допомогою дискретної інтервальної нечіткої моделі другого типу. Програмно реалізована гра «шашки» на основі CSM. На кожному етапі ігрового процесу прототип і стратегія для комп'ютерного персонажу формуються з урахуванням результату роботи CSM. Стратегія поведінки комп'ютерного персонажа розроблена з урахуванням когнитивного стилю гравця-людини. Такий спосіб формування стратегії комп'ютерного персонажа дозволяє змінювати заздалегідь спланований сценарій гри залежно від індивідуальних можливостей гравця-людини.

Табл. 1. Іл. 4. Бібліогр.: 8 найм.

UDC 004.81

Determination of cognitive style of users of computer games based on interval type-2 fuzzy model / T.G. Petrenko, O.S. Timchuk // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 70–74.

The research work proposes a model to define cognitive style of player of computer game “Checkers” (Cognitive Style Model, CSM) with the help of discrete interval type-2 fuzzy model. Programmatically realizes game “Checkers” by CSM. The application at each stage of gameplay and strategy for a prototype computer character is formed taking into account the results of CSM. Behavioral strategy computer characters designed with the cognitive style of a human opponent. Such a method of forming a strategy of computer character allows you to change preplanned scenario of the game, depending on the individual capabilities of the player-man.

Tab. 1. Fig. 4. Ref.: 8 items.

УДК 519.71



РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ НА ОСНОВЕ МНОГОЗНАЧНОЙ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ЛОГИКИ В ЗАДАЧАХ НАСТРОЙКИ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Е.И. Кучеренко¹, А.В. Корниловский¹, И.С. Глушенкова²

¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники

² Харьковская национальная академия городского хозяйства

Предложено и реализовано развитие метода оперативной настройки параметров функций принадлежности нечетких баз знаний. Исследованы точностные параметры при настройке функций принадлежности на множестве лингвистических термов. Предложена программная реализация подхода, представленная в работе множеством классов UML-диаграмм, оценена вычислительная сложность на множестве показателей точности.

НЕЧЕТКАЯ БАЗА ЗНАНИЙ, ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ, НАСТРОЙКА, ОПТИМИЗАЦИЯ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СЛОЖНОСТЬ

Введение

Важным аспектом реализации технологий принятия решений на множестве альтернатив $\{Alt_i\}, i \in I$ сетевой модели, отображающей процессы предметной области $\{Pr_k\}, k \in K$, является использование знание ориентированных технологий [1], отображающих процессы моделей правил продукционных баз знаний

$$\{ \text{if } x \text{ is } \mu(x) \text{ then } y \text{ is } \mu(y) \}. \quad (1)$$

В связи с этим представляется актуальным в задачах повышения достоверности принимаемых решений повышение адекватности применения функций принадлежности нечетких процессов [1] в задачах нечетких баз знаний. В работах [2, 3, 4] были исследованы некоторые аспекты описания и настройки компонент $\mu(x) = f(a, b, x, y, z)$ функций принадлежности процессов предметной области, ориентированных на обучение функций принадлежности нечетких правил продукций. Решения задач нечеткого логического вывода может быть представлено в виде нахождения решения уравнения вида:

$$y' = x' \wedge \mu(x, y), \quad (2)$$

где $\mu(x, y)$ — нечеткое отношение правила (1).

Существующие решения (2) основаны на модификации и развитии подходов методов дихотомии и многозначной логики в задачах настройки параметров функций принадлежности. Критический анализ результатов показал, что полученные решения обладают сложностью, близкой к экспоненциальной, а решения характеризуются наличием существенной неустойчивости.

В связи с этим существует актуальность и перспективность исследований, отображающих процедуры нечеткого логического вывода на множествах возможных решений.

1. Постановка задачи

Ранее был предложен подход для реализации процедуры настройки функций принадлежности

нечеткого логического вывода посредством развития метода дихотомии [5]. Половинное деление позволяет для множества функций принадлежности $\{\mu(x)\}$ производить настройку параметра крутизны k в $\mu(x) = f(k, a, b, x, y, z)$ в зависимости от заданного значения ожидаемой величины дефазсифицированного значения функции принадлежности $y_{ож}$. Установлено, что такая реализация обладает вычислительной сложностью, характеризующейся [3]:

$$O(n) \approx e^{1/\epsilon}, \quad (3)$$

где ϵ — параметр метода настройки параметров, определяющий норму точности аппроксимации.

Вычислительная сложность ранее предложенного алгоритма не является оптимальной. При решении задачи с использованием метода многозначной логики при некоторых произвольных входных данных [6] возникала проблема скачка вычислительной сложности, что приводило к недопустимо большому увеличению времени работы программы.

В связи с изложенным выше, необходимо модифицировать существующие решения, что позволит существенно снизить вычислительную сложность с одновременным повышением стабильности работы.

2. Разработка модификации метода настройки параметров функций принадлежности

Известно, что множество функций принадлежности $\{\mu_i\}, i \in I$ является конечным в рамках некоторого класса решаемых задач: $\{\mu_i\} = \text{const}, \{\mu_i\} < \infty$. Для каждой операции a_i настройки параметра k функция принадлежности $\{\mu_i\}, i \in I$ четко определена и может быть представлена в виде:

$$\mu_{\bar{a}_i} = f(x, k, a, b),$$

где x, k, a, b — некоторые переменные.

В изложенном [1] методе развития дихотомии операция соответствует итеративному процессу:

$$k_i = k_{i-1} \pm \varepsilon / 2, \quad (4)$$

где k_i — i шаг операции; k_{i-1} — $i-1$ шаг операции; ε — норма ошибки,

Процесс продолжается до тех пор, пока не реализован критерий точности аппроксимации Δy :

$$\Delta y = |y_{\text{ф}} - y_{\text{ож}}| \leq \varepsilon, \quad (5)$$

где $y_{\text{ф}}$ — фактическое значение дефаззифицированной величины.

В работе [2] предлагается использовать текущее значение делителя как минимальное и ввести ряд дополнительных целочисленных значений делителя [3]:

$$d \in \{d_1, d_2, \dots, d_{n-1}, 2\}, \quad (6)$$

где $d_1, d_2, \dots, d_n, d_l > 2, l \in L$.

Такой вариант выбора делителя позволит в ряде случаев осуществить более быстрое достижение заданной точности аппроксимации ε .

Для каждого типа функции принадлежности и каждого делителя d_i можно измерить время работы предлагаемого алгоритма τ_i , где τ_i — модельное время. Критерием решения задачи (останова) будет из $\{\tau_k\}, i \in K$ как нахождение

$$\forall \tau_k, \tau_k \in \{\tau_k\} \xrightarrow{F^*} \text{extr},$$

где F^* — ограничения предметной области. На множестве $\{\mu_i\}$ осуществляется ранжирование τ_k по критерию минимизации модельного времени. Для соответствующих значений из $\{\tau_{k_{\min}}\}$ определяется их делитель $d_{\min_i}$ для μ_i :

$$k_i = k_{i-1} \pm \varepsilon / d_{\min}. \quad (7)$$

Таким образом, можно выделить для нахождения (7) ряд этапов модифицированного метода при настройке параметров функций принадлежности:

- фаззификация правила продукции, выбор типов функции принадлежности;
- используя экспертные оценки, задание параметров функций принадлежности;
- решение задачи нечеткого логического вывода;
- дефаззификация нечеткого логического вывода;
- определение оценки ожидаемого дефаззифицированного значения — $y_{\text{ож}}$;
- задание делителя дихотомии d и требуемой точности вычисления ε ;
- запуск процесса итеративной аппроксимации;
- остановка при достижении необходимой точности ε ;
- повторный прогон изложенных выше процедур, модификация параметров функции принадлежности;
- останов.

Оценка времени проведения операции настройки τ_k определена в мс — 10^{-3} с.

Решение данной задачи посредством использования методов многозначной интервальной логики [3] позволяет определять минимальное значение модельного времени τ [2]. Однако в ряде случаев оно не является алгоритмически оптимальным. Это связано с тем, что не всегда возможно достичь минимальных значений модельного времени по причине использования в этом подходе значения Δy (5) в качестве числителя шага аппроксимации [3], что не всегда адекватно.

Знаменатель шага определяется как $A \in (0,1), A \in \mathbb{R}$. В предлагаемом подходе в роли делимого выступает значение априорно заданной точности вычислений ε (5), что позволяет выполнить условие для модельного времени τ_k :

$$\tau_{\Delta y, A} < \tau_{\varepsilon, d}, \quad (8)$$

где $\tau_{\Delta y, A}$ — модельное время при использовании числителя шага Δy и знаменателя A ; $\tau_{\varepsilon, d}$ — ε и d — соответственно.

3. Программная реализация предлагаемого подхода

Программная реализация предложенного решения является модификацией версии приложения, реализующего n -разрядную интервальную настройку функций [3], которая выполнена в программной среде C++ [7]. В приложении в качестве множества функций принадлежности представлено множество гауссианов функций принадлежности:

$$\text{— большого } \mu^b = 1 - e^{-k_1(x-a)^2},$$

$$\text{— малого } \mu^m = e^{-k_2 x^2},$$

$$\text{— среднего } \mu^{cp} = e^{-k_3(x-b)^2}$$

и их производные, где k_1, k_2, k_3 — элементы настройки крутизны, a, b — некоторые константы. Соответственно подбор делителя дихотомии $d_{\min}$ осуществляется для каждого из трех видов функций.

UML-диаграмма классов приложения представлена на рис. 1.

Для реализации модифицированного подхода в программный код введены классы FVData и Divider. Класс FVData представляет собой структуру, содержащую данные о времени выполнения операции настройки для конкретного типа нечеткой величины и значения делителя d . Таким образом, класс FVData агрегируется классом FuzzyValue в отношении «один ко многим». Поля агрегированных экземпляров класса заполняются динамически и подлежат дальнейшему считыванию, поэтому определены модификатором доступа public [7].

Класс Divider описывает сущность динамически изменяющегося делителя d . Объект класса Divider хранит в себе текущее значение делителя, а

также функционал для его изменения и измерения текущего числа операций при настройке функций принадлежности. Класс *Divider* не предполагает наследования, поэтому определён модификатором *final*. Классовая структура приложения выполнена таким образом, что предполагает повторное использование кода и дальнейшую модификацию. Выполнены требования инкапсуляции и модульности. Важным нововведением в программной оболочке алгоритма стала поддержка вычислений и вызова приложений посредством командной строки. Входные данные для работы алгоритма при этом передаются в виде строкового массива.

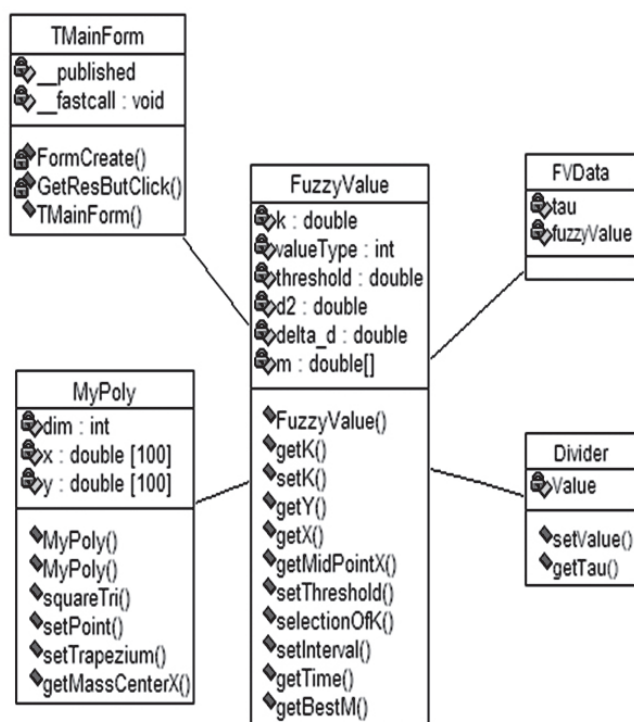


Рис. 1. UML-диаграмма классов приложения

Важным нововведением в программной оболочке алгоритма стала поддержка вычислений и вызова приложений посредством командной строки. Входные данные для работы алгоритма при этом передаются в виде строкового массива. Таким образом, вызов приложения имеет следующий вид:

FuzzyP.exe arg1 arg2 arg3 ... argN,

где arg_i ($i = 1..N$) – входные значения типов функций принадлежности, входное значение аргумента, ожидаемое значение дефазифицированной величины,

Вывод информации при вызове приложения через командную строку осуществляется в файл, который впоследствии может быть использован и обработан другими системами.

Функционал консольного вызова приложения позволяет интегрировать его с другими программными вычислительными средствами при решении комплексных задач.

Пользовательский интерфейс приложения представлен на рис. 2 для случая настройки функции $\mu^m = e^{-k_2 x^2}$:

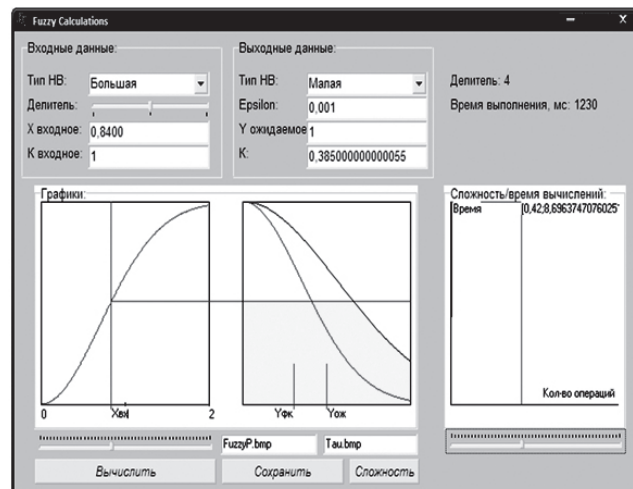


Рис. 2. Интерфейс приложения при выполнении настройки функции принадлежности «малое»

4. Экспериментальные исследования

В процессе работы приложения были получены следующие фактические значения времени работы алгоритма τ для трёх типов функций принадлежности и множества делителей дихотомии $d = \{2, 4, 8\}$. Определена точность аппроксимации $\varepsilon = 10^{-3}$ в зависимости от коэффициента деления (табл. 1).

Таблица 1

Время работы приложения, мс			
Тип НВ \ Делитель d_i	2	4	8
Малое	103	80	97
Среднее	123	69	112
Большое	45	75	69

Экспериментальные данные (табл. 1) позволяют в задачах настройки нечетких баз знаний использовать конкретный коэффициент деления d для соответствующей функции. Точные значения времени выполнения τ (мс) изменяются в зависимости от аппаратного обеспечения компьютерных средств. Результаты эксперимента получены для компьютера с центральным процессором Intel Core2Duo 2GHz и 1 GB RAM.

Зависимость вычислительной сложности от различных значений делителя d представлена на рис. 3.

Как следует из рис. 3, на участке $0 < d < d_3$ существует принципиальная возможность вычислений с приемлемой точностью ε без влияния экспоненциальной сложности вычислений, что важно в приложениях. В работе также выполнены замеры модельного времени для различных значений за-

данной точности вычислений ε , что в ряде случаев позволяет варьировать значениями параметров настройки.

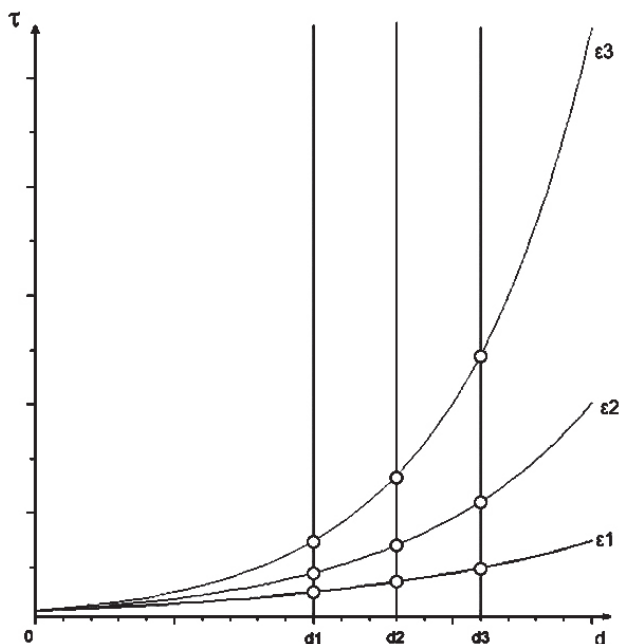


Рис. 3. Зависимость сложности вычислений от различных значений делителя d при $d_3 > d_2 > d_1$; $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$; $\varepsilon_2 > \varepsilon_3$

Выводы

1. Реализовано развитие метода настройки параметров нечетких функций принадлежности с использованием кратных значений делителя многозначной логики в знаниеориентированных технологиях. Предложен подход для нахождения оптимальных значений параметров операции настройки по критерию точности аппроксимации, что позволяет существенно снизить время работы метода.

2. Модифицировано программное решение путем ввода дополнительных функций, внесены соответствующие изменения в классовую структуру UML-диаграммы, реализован более удобный пользовательский интерфейс.

3. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие эффективность данного

подхода для трёх базовых видов функций принадлежности на множестве термов лингвистических переменных: «малое», «большое» и «среднее», которые реализованы в виде гауссианов в знаниеориентированных технологиях.

Список литературы: 1. Бодянский, Е.В. Нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах [Текст] / Е. В. Бодянский, В. Е. Кучеренко, Е. И. Кучеренко, А. И. Михалев, В. А. Филатов — Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. — 412 с. 2. Кучеренко, Е. И. О методах настройки функций принадлежности [Текст] / Е. И. Кучеренко, А. В. Корниловский, И. С. Творошенко — Системы управления навигации и связи. Вып. 1, 2010. — С. 95-99. 3. Кучеренко, Е. И. О модификации методов оперативной настройки функций принадлежности в знание ориентированных моделях [Текст] / Е. И. Кучеренко, А. В. Корниловский, И. С. Глушенкова // Системы обработки информации. — 2010. — № 5 (86). — С. 54 — 57. 4. Способы формирования нечетких множеств. Функции принадлежности [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.lifeprog.ru/view_zam.php?id=87&cat=5&page=5. 5. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн — М.: Наука, 1970. — 720 с. 6. Васильев, Ф. П. Методы оптимизации [Текст] / Ф. П. Васильев — М.: «Факториал Пресс», 2002. — 824 с. 7. Шилдт, Г. Полный справочник по C++ / Г. Шилдт. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 800 с.

Поступила в редакцию 25.02.2011.

Розвиток методів на основі багатозначної інтервальної логіки в задачах налаштування функцій належності / Є. І. Кучеренко, А. В. Корніловський, І. С. Глушенкова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 75–78.

Запропоновано розвиток методу налаштування функцій належності в знанняорієнтованих моделях. Досліджено питання обчислювальної складності та точності реалізації.

Табл. 1. Іл. 3. Бібліогр.: 7 найм.

The development of methods on based of multi-valued interval logic in tasks of setting membership functions / Ye. I. Kucherenko, A. V. Kornilovski, I. S. Gluchenkova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 75–78.

Proposed development of methods for setting membership functions in a knowledge-based models. The issues of computational complexity and accuracy of implementation.

Tab. 1. Fig. 3. Ref.: 7 items.

УДК 007.5



ОЦЕНИВАНИЕ НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТИ ПРАВИЛ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ПРОВЕРКИ НАБОРОВ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ

С.Ф. Чалый¹, А.А. Кривчикова²

¹ ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, s_chaliy@mail.ru

² ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, krivchikovaanna@gmail.com

Предложен метод оценивания непротиворечивости правил бизнес-процесса с изменяемой структурой на основе проверки соответствия входных и выходных наборов данных процесса с использованием математического аппарата алгебры конечных предикатов. Разработанный метод создает условия для повышения эффективности управления бизнес-процессами.

БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ, НЕПРОТИВОРЕЧИВОСТЬ ПРАВИЛ,
БИЗНЕС-ПРАВИЛА, БИЗНЕС-ПРОЦЕДУРЫ

Введение

Одна из важных проблем при создании основанных на знаниях систем, в частности в области анализа и моделирования бизнес-процессов, связана с выбором способа представления знаний о таких процессах. Выбранное представление знаний должно обеспечивать возможности оценивания их непротиворечивости и полноты, что в значительной степени определяет применимость формализованных знаний к моделированию, анализу и управлению бизнес-процессами.

В последние годы произошли значительные изменения в области моделирования и управления бизнес-процессами (БП), связанные с применением знание-ориентированных подходов. Основной акцент в данной области смещается с непосредственно программирования в сторону построения максимально точной и детальной процессной модели, которая детализует знания о процессах и реализуется в рамках системы управления бизнес-процессами (СУБП) [1]. Жизненный цикл такой системы включает в себя следующие этапы [2]: формализация описания процесса; конфигурирование информационной системы; выполнение процесса; анализ результатов выполнения с целью улучшения процесса.

На этапе выполнения формируется журнал событий, который отражает текущее поведение БП в виде последовательности событий, связанных с началом, завершением процедур процесса, а также обработкой тех или иных объектов. Данный журнал используется на этапе анализа для получения знаний, определяющих выбор способов дальнейшей реорганизации и улучшения каждого процесса в отдельности, а также их совокупности. Таким образом, рассмотренный жизненный цикл ориентирован на непрерывное усовершенствование бизнес-процессов на основе знаний об их возможном и допустимом поведении.

Существующие СУБП ориентированы на автоматизацию в основном этапов конфигурирования и выполнения процесса. Реализация остальных

этапов требует разработки новых формальных подходов к выделению и представлению знаний для анализа и построения улучшенной модели процесса. Следовательно, возникает проблема разработки знание-ориентированных моделей и методов анализа, построения, верификации и усовершенствования БП на основе формализации знаний о порядке функционирования и ограничениях на выполнение процессов.

Решение данной проблемы связано с дальнейшим развитием подходов, методов и моделей в рамках интеллектуального анализа процессов (process mining). В практическом аспекте это предполагает построение систем, моделирующих интеллектуальную деятельность человека по нахождению новых и доступных для интерпретации знаний, отражающих взаимосвязи между элементами бизнес-процессов, ограничения и условия выполнения процессов, а также правила построения структуры процесса. Указанные знания позволяют выполнить верификацию бизнес-процесса.

Такая верификация ориентирована на оценивание полноты и непротиворечивости имеющегося формального знание-ориентированного представления БП путем выявления и локализации несоответствий с реальным процессом, а также с имеющимися правилами и ограничениями [3]. Нахождение указанных несоответствий во время функционирования БП приводит к дополнительным временным и материальным затратам. Поэтому проблема оценивания непротиворечивости знаний на этапе формализации представления бизнес-процесса представляется весьма актуальной. Отметим, что оценивание непротиворечивости знаний является особенно важным для гибких бизнес-процессов с изменяемой структурой, т. к. для них характерны динамические изменения во время выполнения.

1. Постановка задачи

В ряде исследований [2, 3, 4] показано, что бизнес-правила используются для ограничения последовательности рядка функционирования, а

также управления бизнес-процессом. Оценивание непротиворечивости правил позволит избежать нерационального поведения БП и связанных с этим дополнительных затрат.

Перед формулированием задачи оценивания непротиворечивости правил рассмотрим многокомпонентное представление M бизнес-процесса, которое и включает в себя знания в форме правил [5]. Такое представление, в частности, охватывает бизнес-правила, поток работ (процедур) процесса, собственно процедуры, а также объекты, с которыми оперирует БП.

Первым по иерархии является компонент бизнес-правила $Bpr(Br)$. Данный компонент отражает знания о функционировании процесса, а также функциональные требования к бизнес-процессу. Бизнес-правила влияют на поток работ (Workflow) — $Wf(Br)$, задавая (либо изменяя) последовательность выполнения процедур (Br_j) с учетом ролей Rl_j исполнителей Isp_i бизнес-процедур.

Workflow имеет взаимно-однозначную связь с множеством бизнес-процедур $Br = \{Br_j\}$, а процедуры в свою очередь оперируют с объектами $B = \{b_k\}$. Последние характеризуются набором значений данных $Val(b_k^m)$ — атрибутов объектов b_k . Процедуры Br_j связаны как с общим потоком работ бизнес-процесса, так и с ролями исполнителей. [5].

В соответствии с изложенным представлением бизнес-процесса, задача оценивания непротиворечивости правил формулируется следующим образом.

Исходными данными задачи являются:

- множество элементов бизнес-процесса, включая представленные в форме правил знания о процессе, наборы процедур, объектов и исполнителей;

- многоуровневое представление БП, которое отражает иерархию взаимосвязей между рассмотренными элементами процесса.

Требуется разработать метод оценивания непротиворечивости правил бизнес-процесса, входящих в состав рассмотренного многокомпонентного представления, на основе проверки соответствия их входных и выходных данных.

В практическом аспекте метод должен обеспечивать возможности для построения такого набора бизнес-правил, которые, во-первых, позволяли бы достичь конечного состояния бизнес-процесса, а во-вторых, обеспечивали бы возможность проверки достижимости конечного состояния БП.

2. Оценивание полноты и непротиворечивости правил

Функционирование бизнес-процесса представляется в виде графа G , с набором вершин u , отражающих состояния процесса, и с набором дуг R , соответствующих переходам между состояниями.

Состояние процесса в каждый момент времени определяется наборами текущих ситуаций, каждая из которых характеризуется структурой данных процесса, набором текущих выполняющихся процедур, а также истинных правил, определяющих поведение БП.

Последовательность состояний процесса определяется результатом выполнения процедур, а также влиянием внешних воздействий. Изменение порядка выполнения процедур определяется на основе знаний о контексте выполнения БП, требуемых ограничениях в каждой конкретной ситуации, взаимосвязи между текущей ситуацией и желаемым состоянием процесса путем реализации соответствующих бизнес-правил. Следовательно, переходы между состояниями бизнес-процесса являются результатом выполнения процедур и применения бизнес-правил, изменяющих возможные последовательности таких процедур, а также соответствующие подмножества данных.

Нарушения порядка реализации бизнес-процесса в соответствии с заданным графом G может быть вызвано рядом причин, связанных как с непредсказуемыми внешними воздействиями, так и с внутренними несоответствиями в модели БП.

Наиболее характерные несоответствия для бизнес-процессов связаны с ошибками обработки данных. Примерами ошибок данных являются: создание объектов данных, которые не используются при реализации БП; отсутствие необходимых объектов данных; дублирование объектов данных. Указанные ошибки могут появиться при доступе к данным во время запуска и выполнения бизнес-процедур. При обработке структур данных могут возникать следующие события:

- доступ к объектам данных;
- определение назначения объекта данных;
- определение атрибутов объектов данных.

Детализуем указанные события.

Определение элемента данных многоуровневого представления БП будем рассматривать как определение его атрибутов.

Определение объекта данных для рассмотренного представления БП происходит во время определения ситуации.

Определение значений объекта данных происходит либо при возникновении ситуации, либо при выполнении процедур сценария, связанных с ситуацией. Данные используются при запуске соответствующих процедур [3].

В соответствии с рассмотренными выше особенностями представления бизнес-процессов поставленная в работе задача оценивания непротиворечивости бизнес-правил решается при верификации бизнес-процесса в целом.

Для проведения верификации сформулируем критерий соответствия входных и выходных на-

боров данных бизнес-процесса в целом. При этом используются правила Bpr_i^M рассматриваемого многоуровневого представления БП M из пространства T_{Bp} , которые ограничивают допустимое поведение в модели процесса, и правила Bpr_j^N , которые определяют поведение реального процесса N . Тогда критерий соответствия модели и реального процесса определяется через минимум среднеквадратичного отклонения выходов процессов M и N в пространстве T_{Bp} при ограничениях, задаваемых соответствующими бизнес-правилами:

$$n_{CM}^2 = \sum_{i \in T_{Bp}} (Bpr_i^M - Bpr_i^N)^2 / \sum_{i \in T_{Bp}} Bpr_i^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

здесь n_{CM} — это коэффициент отклонения правил Bpr_i^M от правил Bpr_i^N .

Интерпретация критерия следующая: многоуровневое представление M , правила которого оцениваются в пространстве T_{Bp} , должно как можно ближе совпадать с реальным процессом N , в основу которого входят правила (иногда слабо формализованные) бизнес-процесса реального предприятия.

Для оценивания непротиворечивости правил используем аппарат алгебры конечных предикатов (АКП). Однозначные и многозначные операторы АКП позволяют корректно описать соотношения между знаниями о выполнении последовательности процедур, а также взаимосвязи между знаниями о роли исполнителя подразделения. Логические операторы связи позволяют описать ветвление и слияние процесса [6].

Алгеброй предикатов называется любая алгебра, носителем которой является множество M всех предикатов вида $L(x_1, x_2, \dots, x_m) = \eta$, заданных над предметным пространством Q , где Q — это произвольный универсум предметов ($x_1, x_2, \dots, x_m \in Q$). Существует связь между предикатами, т.е. каждому конечному оператору можно поставить в соответствие некоторый свой конечный предикат. Сделать это можно следующим образом. Пусть $l(x_1, x_2, \dots, x_m) = y_1 y_2 \dots y_m$ — это произвольно выбранный конечный оператор, который преобразует входные данные $x_1, x_2, \dots, x_m$ в выходы $y_1, y_2, \dots, y_m$ из предметного пространства. Построим конечный предикат $L(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_m)$, руководствуясь следующим правилом:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_m) = \begin{cases} 1, & \text{if } l(x_1, x_2, \dots, x_m) = y_1 y_2 \dots y_m, \\ 0, & \text{if } l(x_1, x_2, \dots, x_m) \neq y_1 y_2 \dots y_m. \end{cases} \quad (2)$$

Это уравнение связывает переменные $x_1, x_2, \dots, x_m$, $y_1, y_2, \dots, y_m$ отношением. Подставляя в входные элементы $x_1, x_2, \dots, x_m$ оператора L , получим в результате решения этого уравнения данные на выходе $y_1, y_2, \dots, y_m$. Таким образом, предикат L , построенный указанным способом,

содержит в себе всю информацию об операторе l . С его помощью можно определить выходные данные оператора, представляемого этим предикатом, для любых элементов, которые подаются на вход [6].

При реализации представления знаний [7] о реорганизации бизнес-процесса средствами АКП учитывается однотипность представления различных уровней бизнес-процесса — знаний, последовательности процедур, объектов, с которыми оперирует процесс. Предлагаемый подход обеспечивает преимущества, связанные с возможностью изменения последовательности процедур процесса, а также оценивания полноты процесса на основе простых логических операций.

Остановимся теперь на минимизации несоответствий между значениями правил. Знания в виде правил многоуровневого представления БП задаем набором $Bpr = \{bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_j\}$, где j — число компонентов набора. Имеем набор процедур $Br = \{br_1, br_2, \dots, br_k\}$. Между правилами и процедурами существует некоторое соотношение $L(Bpr, Br)$ — это фрагментное соотношение. Функция L позволяет оценить непротиворечивость выполнения процесса. Если $L(br_1, br_2, \dots, br_k, bpr_1) = 1$, тогда все процедуры процесса подчиняются первому правилу. Для корректного выполнения формулы (1) необходимо потребовать выполнение следующего логического соотношения:

$$L(br_1, \dots, br_k, bpr_1) \vee L(br_1, \dots, br_k, bpr_2) \vee \dots \vee L(br_1, \dots, br_k, bpr_j) = 1 \quad (3)$$

Таким образом, $L(Br, Bpr_{j+1}) = \bigwedge_{j=1}^k L(Br, Bpr_j)$. И, следовательно, $L(Br, Bpr_{j+1})$ не может быть больше $L(Br, Bpr_j)$, что говорит о непротиворечивости правил.

Аналогично, проведем процесс минимизации для представления знаний о порядке обработки объектов. Имеем набор процедур $Br = \{br_1, br_2, \dots, br_j\}$, где j — число компонентов набора Br и набор объектов $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$. Между процедурами и объектами существует соотношение $L(Br, B)$. Для достижения конечного состояния процесса необходимо выполнение соотношения:

$$L(b_1, \dots, b_k, br_1) \vee L(b_1, \dots, b_k, br_2) \vee \dots \vee L(b_1, \dots, b_k, br_j) = 1 \quad (4)$$

$$L(B, Br_{j+1}) = \bigwedge_{k=1}^n L(B, Br_k)$$

и, следовательно, $L(B, Br_{j+1})$ не может быть больше $L(B, Br_j)$, что, как и в предыдущем случае, говорит о непротиворечивости правил.

Что же касается полноты пространства T_{Bp} , то для этого необходимо и достаточно выполнение следующего требования:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} (x_m, y_m) = 0. \quad (5)$$

Соотношение означает, что логи событий должны находиться внутри пространства T_{bp} и не выходить за его пределы.

Практическая реализация предлагаемого критерия связана с выполнением набора бизнес-правил, которые отражают знания о взаимосвязи элементов многоуровневого представления M . Рассмотренный критерий непротиворечивости правил направлен на выявление ошибок и несоответствий при реинжиниринге БП во время его функционирования с учетом изменившихся данных. Это дает возможность достигнуть запланированного уровня результативности процесса [3].

Пример. Нужно представить в виде конечно-го предиката семейство, состоящее из операторов описания соотношений между процедурами и правилами процесса:

$$\begin{aligned} l_1(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m) &= br_1, br_2, \dots, br_m; \\ l_2(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m) &= br_1, br_2, \dots, br_m; \\ l_3(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m) &= br_1, br_2, \dots, br_m. \end{aligned}$$

Строим $2m+1$ -местный предикат:

$$L(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m, br_1, br_2, \dots, br_m),$$

полагая, что при $z=1$ он соответствует оператору l_1 , при $z=2$ — оператору l_2 , при $z=3$ — оператору l_3 . Предикат L должен соответствовать формуле. Проверяем выполнение формулы следующим образом:

$$\begin{aligned} &L(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m, br_1, z) \vee \\ &\vee L(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m, br_2, z) \vee \\ &\vee L(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m, br_3, z) \vee \\ &\vee L(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m, br_1, br_2, z) \vee \\ &L(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m, br_1, br_2, br_3, z) \vee \dots \\ &\dots \vee L(bpr_1, bpr_2, \dots, bpr_m, br_1, br_2, \dots, br_m, z). \end{aligned} \quad (6)$$

Если соотношение обращается в нуль, то правила, которые задают ограничения на выполнение процедур процесса, допускают логическую ошибку в ходе выполнения процесса, что не позволяет достичь цели процесса. Если принимает значение, равное единице, тогда можно говорить о логической корректности правил и процедур.

В соответствии с изложенными выше положениями предложен метод оценивания непротиворечивости правил бизнес-процесса. Метод позволяет проводить устранение избыточных ограничений, связанных с проверкой выходных значений, т.е. когда при одинаковых исходных данных формируются различные логические выводы. Общая последовательность действий такова: на первом этапе формируем множества входных данных для правил, на втором этапе в зависимости от входных данных и правил БП, получаем наборы выходных данных. Далее выполняем проверку совпадения

полученных множеств, по результатам которой можно сделать вывод о противоречивости (либо непротиворечивости) соответствующих правил.

Более детально, оценивание происходит по следующей схеме. Во-первых, из набора входных данных бизнес-процесса $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ выделяют подмножества входных данных бизнес-правил. Если для какой-либо пары правил их входные наборы данных A и B не пересекаются, то необходимо сравнить множества выходных данных, проверив наличие логической взаимосвязи выходов.

Во-вторых, если входные данные некоторой пары правил — это два пересекающихся множества A и B , а в результате их применения получаем единственный набор выходных данных $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, тогда необходимо проверить, сравнимы ли между собой входные множества A и B . Если множества не сравнимы, то правила, которые задают выполнение процесса, верны или непротиворечивы. Если множества сравнимы, то необходимо построить сравнение и доказать или опровергнуть противоречивость правил.

В-третьих, в случае, если входные данные бизнес-процесса — это два непересекающихся множества A и B , на выходе получаем единственный набор выходных данных $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. В этом случае необходимо проверить непротиворечивость правил и соответствующего процесса. Данную проверку можно выполнить, применив операцию логического умножения правил и процессов (при условии их логического представления).

Рассмотрим первый случай. Выделяем два подмножества входных данных $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ и $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, причем $A \neq B$. Необходимо сравнить выходные множества C и D для оценивания выходных данных бизнес-процесса.

Опишем операцию проверки совпадения выходных множеств данных $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ и $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$. Эта операция может быть задана предикатом вида: $(c_1 = d_1)(c_2 = d_2) \dots (c_m = d_m) = t$.

При совпадении множеств C и D предикат принимает значение $t=1$, при несовпадении — значение $t=0$. С целью реализации этой операции введем вспомогательные логические переменные $t_1, t_2, \dots, t_n$, определяемые следующими рекуррентными соотношениями:

$$t_{i-1}(c_i^{x_1} d_i^{x_1} \vee c_i^{x_2} d_i^{x_2} \vee \dots \vee c_i^{x_k} d_i^{x_k}) = t_i, (1 \leq i \leq n).$$

Полагая $t=0$, имеем $t=t_n$.

По приведенным выше формулам построен предикат, устанавливающий за n шагов равенство или неравенство двух множеств.

Теперь рассмотрим ситуацию, при которой множества C и D сдвинуты друг относительно друга. Сдвиг осуществляем на z позиций вправо. Переменная z может принимать значения $0, 1, \dots, m-1$. В неявном виде операция циклического сдвига запишется следующим образом:

$$(c_1 = d_1)(c_2 = d_2) \dots (c_m = d_m) z^0 \vee \\ \vee (c_m = d_1)(c_1 = d_2) \dots (c_{n-1} = d_n) z^1 \vee \dots \\ \dots \vee (c_2 = d_1)(c_3 = d_2) \dots (c_1 = d_m) z^{m-1} = 1.$$

Явное описание этой же операции:

$$y_1^{c_j} z^{i-1} \vee y_2^{c_j} z^{i-2} \vee \dots \vee y_i^{c_j} z^0 \vee \\ \vee y_{i+1}^{c_j} z^{m-1} \vee \dots \vee y_m^{c_j} z^i = y_i^{c_j}. \\ y_1^{d_j} z^{i-1} \vee y_2^{d_j} z^{i-2} \vee \dots \vee y_i^{d_j} z^0 \vee \\ \vee y_{i+1}^{d_j} z^{m-1} \vee \dots \vee y_m^{d_j} z^i = y_i^{d_j}.$$

Здесь индекс i изменяется в пределах от 1 до n , а индекс j — в пределах от 1 до k .

Схема, формирующая логическую взаимосвязь элементов $y_i^{c_j}$ и $y_i^{d_j}$, представлена в приведенных выше формулах.

Выводы

В статье предложен метод оценивания непротиворечивости правил бизнес-процесса на основе проверки соответствия входных и выходных наборов данных. В соответствии с указанным методом, выполняется проверка правил, имеющих пересекающиеся множества входных (либо выходных) данных, относящихся к одному и тому же элементу процесса. Предложенный метод создает условия для более эффективного управления бизнес-процессами за счет устранения избыточных ограничений, представленных в форме бизнес-правил. Такие избыточные ограничения связаны с противоречием в структуре правил, когда для одного и того же элемента процесса при одинаковых исходных условиях формируются противоречивые логические выводы.

Список литературы: 1. Репин, В. В. Процессный подход к управлению Моделирование бизнес-процессов [Текст]: учеб. / В. В. Репин, В. Г., Елиферов. — М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. — 408 с. ISBN 5-94938-018-5 2. Trends in Business Process Analysis: From Verification to Process Mining [Text]: Proceedings of the 9th International Conference on En-

terprise Information Systems, ICEIS, 2007. Medeira / editors: Cordeiro J. Cardoso and J. Filipe. — Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication, INSTICC, Portugal, 2007. — pages 12–22. 3. Левыкин, В. М. Оценивание полноты и непротиворечивости данных для знание-ориентированного представления бизнес-процессов [Текст] / В. М. Левыкин, С. Ф. Чалый // Бионика интеллекта. — 2008. — № 2. — С. 115–119. 4. Калянов, Г. Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов [Текст] / Г. Н. Калянов. — М.: СИНТЕГ, 2000. — 212 с. 5. Левыкин, В. М. Логическая модель представления бизнес-процесса для решения задач интеллектуального анализа процессов [Текст] / В. М. Левыкин, С. Ф. Чалый, А. А. Кривчикова, С. Н. Селезнев // Бионика Интеллекта. — 2010. — № 1. — С. 24–29. 6. Бондаренко, М. Ф. Теория интеллекта [Текст]: учеб. / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнаренко. — Харьков: СМИТ, 2006. — 571 с. 7. Уэно, Х. Представление и использование знаний [Текст] / Х. Уэно, М. Исидзука. — М.: Мир, 1989. — 220 с. ISBN 5-03-000685-0.

Поступила в редколлегию 1.03.2011.

УДК 007.5

Оцінювання несуперечності правил бізнес-процесу на основі перевірки наборів вхідних та вихідних даних / С. Ф. Чалый, Г. О. Кривчикова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 79–83.

Запропоновано метод оцінювання несуперечності правил бізнес-процесу зі змінною структурою шляхом перевірки відповідності його вхідних і вихідних наборів даних з використанням математичного апарату алгебри предикатів. Розроблений метод створює умови для підвищення ефективності управління бізнес-процесами.

Бібліогр.: 7 найм.

UDC 007.5

Evaluation the consistency of the rules of business process based on the verification of input and output data / S. F. Chaliy, G. O. Kryvchikova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 79–83.

The method of a consistency evaluation of business-rules on a base of input and output data comparison is proposed. The method gives the opportunity to improve control by business process.

Ref.: 7 items.

УДК 004.89



ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ ИММУННЫХ СИСТЕМ

Н.М. Кораблев¹, А.А. Фомичев²

¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, korablev@kture.kharkov.ua

²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, alexandros_1985@mail.ru

В работе рассматривается решение задачи обработки результатов тестирования обучающихся на основе искусственных иммунных систем как задача классификации объектов. Спецификой работы используемого метода классификации обучающихся является использование аффинности как единого критерия определения близости объектов и классов.

ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СИСТЕМЫ, ПРИОРИТЕТНОЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ КЛОНИРОВАНИЕ, КОНКУРЕНТНО-ЦЕЛЕВОЙ ОТБОР КЛОНОВ, ОБЛАСТЬ ПОИСКА ЦЕЛЕВЫХ АНТИГЕН

Введение

В настоящее время в условиях информатизации общества большое значение приобретает компьютеризация сферы образования. В учебных заведениях широко распространяется компьютерное тестирование учащихся, исследуются возможности улучшения его качества. Задача обработки ответов, полученных в результате тестирования, может рассматриваться как задача классификации объектов. При тестировании под объектами классификации подразумеваются обучающиеся, которые характеризуются набором ответов на контрольные вопросы тестов. Процесс классификации разделяется на два этапа: 1) обучение, и 2) определение принадлежности к классам [1, 2].

Задача классификации объектов может быть решена различными методами: классическими [1–4, 6, 8, 9], на основе искусственных иммунных систем [5, 7, 10], на основе других биологических принципов, использующихся в задачах обработки данных. Среди иммунных методов, использующихся при классификации, выделяются два основных подхода: 1) классификация на основе отбора клонов [5, 10]; 2) классификация на основе теории иммунной сети [7].

Основными недостатками существующих иммунных методов классификации являются сложность их реализации и большое количество избыточных вычислений, появляющихся на различных этапах работы иммунных операторов.

Классификация объектов, предложенная в [10], осуществляется на основе отбора клонов, где предложены новые подходы к решению задач клонирования, отбора клонов и определения принадлежности объектов к классам, что позволяет ускорить этапы обучения и классификации, а также и повысить их точность.

Постановка задачи

Пусть обучающиеся представляются множеством объектов $OBJ\{obj_1; \dots; obj_n\}$, $n = \overline{1, N}$, каждый из которых характеризуется своим идентификатором

Id_i и набором признаков $P\{p_1; \dots; p_m\}$, $m = \overline{1, N}$. Результаты тестирования представляются множеством классов $CL\{cl_1; \dots; cl_k\}$, $k = \overline{1, N}$, каждый из которых характеризуется идентификатором Id_j , признаками, характеризующими центр класса $C\{c_1; \dots; c_m\}$ и допустимыми отклонениями от центра $\Delta\{\delta_1; \dots; \delta_m\}$. Признаками в данном случае являются ответы обучающихся, полученные при тестировании.

Рассматриваемый метод классификации обучающихся используется при обработке результатов тестирования владельцев оружия в компании «СТРАЖ», г. Харьков. Вопросы в тестах разбиты на четыре основных темы (по 20–25 вопросов в каждой), которым присвоены различные цены ошибок (от 0,5 до 1,5 баллов). Для классификации результатов тестирования предусмотрено три класса – «сдал», «необходимо собеседование» и «не сдал». Исходные условия для проведения обработки результатов тестирования приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Цены ошибок по темам тестирования

Тема	Цена ошибки
тема 1	1.5
тема 2	1
тема 3	0.5
тема 4	0.5

Таблица 2

Характеристика классов

Классы	Ошибки по темам				Всего баллов
	T1	T2	T3	T4	
«Сдал»	2	3	4	4	10
«Собеседование»	4	5	6	6	17
«Не сдал»	> 4	> 5	> 6	> 6	> 17

При использовании иммунного подхода для классификации объекты представляются популяцией антител $AB(ab_1; \dots; ab_n)$, а классы – популяцией антигенов $AG(ag_1; ag_2; ag_3)$. В качестве меры близости между ними используется критерий аффинности Aff_{ij} [8, 10]:

$$Aff_{ij} = (1 + d_{ij})^{-1}, \quad (1)$$

где Aff_{ij} – аффинность между i -м объектом и j -м классом; d_{ij} – евклидово расстояние между ними.

По результатам тестирования необходимо классифицировать обучающихся в соответствии с критерием (1) и с исходными установками на основе использования ИИС-алгоритма [10].

Алгоритм классификации для обработки результатов тестирования

Для классификации обучающихся на основе ИИС-алгоритма зададим форматы представления объектов и классов, которые оказывают влияние на работу иммунных операторов и объемы вычислений (рис. 1).

Id_{obj}			
P_1	P_2	P_3	P_4

a

Id_{class}			
C_1	C_2	C_3	C_4
Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4

b

Рис. 1. Представление объекта (a) и класса (b) для классификации результатов тестирования

Здесь Id_{obj} – идентификатор объекта, Id_{class} – идентификатор класса, P_i – признак объекта, характеризующий количество допущенных ошибок по вопросам i -й темы, C_i – признак центра класса, характеризующий допустимое количество ошибок по вопросам i -й темы, а Δ_i – отклонение от центра C_i , допустимое для вхождения объекта в Id_{class} .

При использовании ИИС-алгоритма для обработки результатов тестирования его работу можно условно разделить на два основных процесса:

- 1) восстановление исходной популяции антигенов;
- 2) определение принадлежности исходных объектов $OBJ\{obj_1; \dots; obj_n\}$ к классам множества $CL\{cl_1; \dots; cl_k\}$.

Формально процесс классификации результатов тестирования может быть описан следующим образом:

$$fclass(ab_1; \dots; ab_n) = result(rconst(ab_1; \dots; ab_n), class(ab'_1; \dots; ab'_n)), \quad (2)$$

где $rconst(ab_1; \dots; ab_n)$ – восстановление антигенов (обучение) путем применения иммунных операторов отбора, клонирования, мутации и старения популяции антител, $class(ab'_1; \dots; ab'_n)$ – определение принадлежности объектов к классам.

Изначально для данной задачи все объекты относятся к классу «не сдал», т.е. данный класс является универсумом по отношению к двум другим исходным классам. Поэтому при определении критериев отбора антител параметры класса «не сдал» не учитываются, и все антитела, не прохо-

дящие первичный отбор, будут отнесены к классу «не сдал». Процесс восстановления классов $rconst(ab_1; \dots; ab_n)$ формально описывается следующим образом:

$$\begin{aligned} reconstr(ag_1; \dots; ag_n) &= reconstr(sel(ab_1; \dots; ab_n), \\ &clon(ab'_1; \dots; ab'_n), ageing(ab''_1; \dots; ab''_n)) \\ (ab'_1; \dots; ab'_n) &= sel(ab_1; \dots; ab_n) \\ (ab''_1; \dots; ab''_n) &= clon(ab'_1; \dots; ab'_n) \end{aligned} \quad (3)$$

где $sel(ab_1; \dots; ab_n)$ – функция отбора антител, $clon(ab'_1; \dots; ab'_n)$ – функция клонирования, мутации и отбора клонов для популяции антител, а $ageing(ab''_1; \dots; ab''_n)$ – функция старения антител.

Для обеспечения отбора популяции антител используется критерий средней аффинности между антигенами $CSel$ [10]:

$$CSel = \frac{\sum_{i=1}^n AF_{iAG}}{n}, \quad (4)$$

где AF_{iAG} – средняя аффинность антигена ag_i со всеми остальными антигенами.

Антитела проходят этап отбора $sel(ab_1; \dots; ab_n)$ аналогично отбору, предложенному в [10]. Для решения задачи клонирования и отбора клонов $clon(ab_1; \dots; ab_n)$ используется приоритетное последовательное клонирование с конкурентно-целевым отбором клонов. Его суть состоит в том, что для каждого антитела для клонирования выделяется всё максимально возможное на данном этапе работы количество клонов. Антитела клонируются последовательно. При последовательной организации клонирования на определенном этапе работы может возникнуть ситуация, при которой количества клонов для клонирования некоторого множества антител недостаточно. Это обуславливает необходимость использования приоритетов при клонировании клеток. Повышенный приоритет клонирования присваивается антителам, для клонирования которых количества клонов оказалось недостаточно. Поэтому такие антитела при клонировании следующей популяции будут клонироваться в первую очередь. Данный подход может быть представлен следующей последовательностью шагов:

Шаг 1. Определение количества клонов клонирования антител.

Шаг 2. Поиск антитела для клонирования в соответствии с их приоритетами.

Шаг 3. Формирование области поиска целевых антигенов.

Шаг 4. Клонирование отобранного антитела.

Шаг 5. Мутация полученных клонов.

Шаг 6. Определение целевых антигенов для полученных мутированных клонов.

Шаг 7. Конкуренция между клонами за общие целевые антигены.

Шаг 8. Добавление оставшихся клонов к поколению антител.

Для сокращения количества целевых антигенов определяются специальные области поиска целей r . Для этого используются значения аффинностей между объектами и классами:

$$r = \frac{aff_{iAG} \max + aff_{iAG} \min}{k}, \quad (5)$$

где $aff_{iAG} \max$ — максимальная аффинность i -го антитела с популяцией антиген; $aff_{iAG} \min$ — минимальная аффинность i -го антитела с антигенами; k — нормирующий коэффициент.

Отбор клонов производится путем конкуренции клеток по степени близости (аффинности) к общему целевому антигену. Таким образом, в результате конкурентного отбора из множества клонов антитела отбирается объект, имеющий наибольшую аффинность с целевым антигеном.

После восстановления антигенов антителами с помощью оператора $rconst(ab_1; \dots; ab_n)$ определяются принадлежности объектов к классам по идентификаторам целевых антигенов последней популяции антител, не восстановивших в процессе клонирования и мутации антигены. Поскольку к классу «не сдал» относятся все объекты, не вошедшие в другие классы, ситуации существования объектов с неопределенным классом не возникает. Поэтому после клонирования и мутации популяции антител нет необходимости в использовании каких-либо дополнительных процедур для формирования классов для неклассифицированных объектов. Таким образом, процесс обработки результатов тестирования может быть представлен следующим образом:

1. Определение критерия отбора антител (объектов).
2. Первичный отбор антител.
3. Цикл восстановления антиген:
 - 3.1. Удаление клонированных антител, которые не восстановили антигены.
 - 3.2. Последовательное приоритетное клонирование с конкурентно-целевым отбором клонов.
 - 3.3. Установка приоритетов клонирования для всех не клонированных антител.
 - 3.4. Проверка критерия останова, переход к шагу 3.1.
4. Определение классов для исходных объектов по результатам восстановления.
5. Конец.

Таким образом, в результате работы иммунного алгоритма производится классификация обучающихся по результатам тестирования. При этом процесс классификации упрощается, поскольку нет необходимости в формировании новых классов для неклассифицированных антител.

Экспериментальные результаты

Тестирование предлагаемого метода классификации производилось на выборке из 20 объектов (обучающихся) при исходных установках классификации (табл. 1 и 2). Результаты тестирования обучающихся представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные для классификации
(результаты тестирования обучающихся)

Объекты	Количество ошибок по темам			
	Тема 1	Тема 2	Тема 3	Тема 4
объект 1	4	2	3	5
объект 2	2	2	4	2
объект 3	3	4	8	6
объект 4	1	0	2	3
объект 5	6	4	7	8
объект 6	2	2	4	5
объект 7	4	1	1	5
объект 8	3	2	2	4
объект 9	4	2	2	6
объект 10	3	1	2	4
объект 11	3	7	4	9
объект 12	2	1	2	3
объект 13	0	0	3	4
объект 14	0	2	4	5
объект 15	3	2	3	4
объект 16	2	0	2	5
объект 17	4	1	2	2
объект 18	3	3	5	0
объект 19	2	6	4	2
объект 20	7	3	2	6

В соответствии с исходными установками (таблицы 1 и 2) был определен критерий отбора антител C_{Sel} по (4). После проведения первичного отбора антител было проведено восстановление антигенов (классов). Большое значение в работе алгоритма приобретает порог восстановления клеток, после которого начинается определение принадлежностей к классам. Это связано с большим количеством вычислений, которые производятся на различных этапах работы цикла восстановления, что может существенно увеличить время выполнения всего алгоритма. Поэтому в данном примере порог восстановления был установлен равным 80%. Для классификации объектов по данному методу потребовалось 4 прохода цикла восстановления $rconst(ab_1; \dots; ab_n)$. Результаты обработки тестов представлены в табл. 4.

В результате классификации ответов обучающихся из группы в 20 человек к классу «сдал» было отнесено 50% обучающихся (10 человек), к классу «необходимо собеседование» отнесено 30% обучающихся (6 человек) и 20% обучающихся (4 человека) отнесено к классу «не сдал». При использовании предложенного ИИС-алгоритма была произведена классификация обучающихся по результатам тестирования. Для обработки ре-

зультатов тестирования было затрачено небольшое количество времени.

Таблица 4

Результаты классификации обучающихся

Объекты	Результат кластеризации
объект 1	«Собеседование»
объект 2	«Сдал»
объект 3	«Собеседование»
объект 4	«Сдал»
объект 5	«Не сдал»
объект 6	«Сдал»
объект 7	«Собеседование»
объект 8	«Сдал»
объект 9	«Собеседование»
объект 10	«Сдал»
объект 11	«Не сдал»
объект 12	«Сдал»
объект 13	«Сдал»
объект 14	«Сдал»
объект 15	«Сдал»
объект 16	«Сдал»
объект 17	«Собеседование»
объект 18	«Собеседование»
объект 19	«Не сдал»
объект 20	«Не сдал»

Выводы

В работе рассмотрено решение актуальной задачи классификации обучающихся путем обработки результатов тестирования на основе использования искусственных иммунных систем. Классификация обучающихся выполнена путем восстановления антигенов (классов) с последующим определением принадлежности к ним антител (объектов).

Предложенный иммунный метод классификации отличается от существующих аналогов практически по всем решениям основных задач на этапе восстановления антигенов. Для повышения эффективности конкурентно-целевого отбора клонов предложен новый подход к определению области поиска целей.

Проведены экспериментальные исследования на примере классификации обучающихся владельцев оружия по результатам их тестирования в компании «СТРАЖ» (г. Харьков), которые указали на высокую эффективность предложенного метода классификации объектов на основе искусственных иммунных систем.

При незначительной модификации данный подход может использоваться для решения различных задач обработки данных, таких как идентификация, распознавание образов и др.

Список литературы: 1. Fayyad U.M. Advances in knowledge discovery and data mining / U.M. Fayyad, G.P. Shapiro // AAAI Press. — 1996. — 356 p. 2. Tang Z. A New Class Based Associative Classification Algorithm / Z. Tang, Q. Liao // International Journal of Applied Mathematics. — 1998. — P. 136-141. 3. Matthew N. Comparative Analysis of Serial Decision Tree Classification Algorithms / N. Matthew, G. Shiva // International Journal of Computer Science and Security. — Vol. 3, 2009. — 230 p. 4. Afsa F.A. A pruned fuzzy k-nearest neighbor classifier with application to electrocardiogram based cardiac arrhythmia recognition / F.A. Afsar, M.U. Akram, M. Arif // Multitopic Conference: proceedings. — 2008. — P. 143-148. 5. Muwang C. Application of Artificial Immune System Approach in MRI Classification / C. Muwang, C.T. Kuo, C.Y. Lin, G.H. Chang // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. — 2008. — P. 208-212. 6. Gentile C. A New Approximate Maximal Margin Classification Algorithm / Gentile C. // Journal of Machine Learning Research. — 2001. — Vol.2. — P. 213-242. 7. Watkins A. A New Classifier Based on Resource Limited Artificial Immune Systems / A. Watkins, L. Boggess // CEC '02. — 2002. — Vol. 02. — P. 146-151. 8. Zhang L. Applications of artificial immune systems in remote sensing image classification / L. Zhang, Y. Zhong, P. Li // International Journal of Remote Sensing. — 2007. — Vol. 28, Is. 7, — P. 1665-1686. 9. Duda R.O. Pattern classification / R.O. Duda, P.E. Hart, D.G. Stork // Wiley & Sons. — 2001. — 738 p. 10. Кораблёв, Н.М. Классификация объектов основе искусственных иммунных систем [Текст] / Н.М. Кораблёв, А.А. Фомичёв // Системи обробки інформації. — 2010. — Вип. 6 (87). — С. 13-17.

Поступила в редколлегию 4.03.2011.

УДК 004.89

Обробка результатів тестування тих, що навчаються, з використанням штучних імунних систем / М.М. Кораблєв, О.О. Фомічов // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 84–87.

У даній роботі розглядається рішення задачі обробки результатів тестування учнів на основі штучних імунних систем як задачі класифікації об'єктів. Специфікою роботи використовуваного методу класифікації тих, що навчаються, є використання афінності як єдиного критерію визначення близькості об'єктів і класів.

Табл. 4. Іл. 1. Бібліогр.: 10 найм.

UDK 004.89

Processing test results studying using artificial immune systems / N.M. Korablev, A.A. Fomichov // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 84–87.

In this paper we consider the solution to the problem of processing the results of testing students based on artificial immune systems as the problem of classifying objects. Specificity of the method used, the classification of students is the use of affinity as the single criterion for determining the proximity of objects and classes.

Tab. 4. Fig. 1. Ref.: 10 items.

УДК 519.62



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ БИРЖЕВЫХ СТРАТЕГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ ИНДИКАТОРОВ

А.А. Гришко, С.Г. Удовенко, Л.Э. Чалая

ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, udovenko@kture.kharkov.ua

В работе проведены разработка и тестирование системы определения стратегий трейдера на электронной бирже на основе выбора эффективного набора технических индикаторов в онлайн-режиме. Предложенный подход позволяет повысить эффективность работы трейдерной системы. Полученные результаты могут быть использованы для разработки торговых биржевых автоматов.

ТРЕЙДИНГОВАЯ СИСТЕМА, ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ, МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР, СТРАТЕГИЯ

Введение

Предсказуемость финансовых рынков зависит от точности прогнозирования финансовых показателей и наличия эффективных торговых стратегий. В последнее время получили распространение трейдинговые компьютерные системы, предусматривающие возможность увеличения дохода на основе использования методов машинного обучения, таких как обучение с подкреплением (reinforcement learning (RL)) [1,2]. К средствам Интернет-трейдинга относят торговые автоматы. Торговый автомат — это программный комплекс, в котором заложен алгоритм совершения операций на рынке ценных бумаг. Такие автоматы в составе трейдинговой системы существенно снижают любой элемент риска в биржевой торговле, присущий трейдеру, принимающему решения. Целью машинного обучения является частичная или полная автоматизация решения сложных задач прогнозирования, возникающих перед трейдером.

Существуют различные методы прогноза тренда показателей на финансовых рынках. Например, в соответствии с так называемой гипотезой эффективного рынка финансовые ряды представляют собой случайные временные последовательности, по которым нельзя удовлетворительно прогнозировать исходы торговых операций по внешней информации, а следует полагаться только на внутреннюю специфику рынка. Лишь относительно недавно начали развиваться трейдинговые модели, которые используют методы вычислительного интеллекта (в частности генетические алгоритмы (ГА)) для оптимизации параметров индикаторов, помогающих обнаружить тенденции изменения основных показателей биржевого рынка. Например, в работах [3, 4] для выбора оптимальных торговых стратегий предлагается применять модифицированный RL-метод, основанный на алгоритме Q-обучения.

Аналитические механизмы компьютерной трейдерной системы должны эффективно использовать информацию, поступающую с рынка. Существуют два подхода к компьютерному анализу рынка в онлайн-режиме: технический и фундаментальный.

Фундаментальный анализ основывается на изучении основных факторов спроса и предложения и рассматривает причины изменений на рынке в результате исследования макроэкономических факторов, которые включают в себя торговый баланс, уровень безработицы, индекс цен производителя, индекс потребительских цен и степень стабильности экономики. Технический анализ является подходом к прогнозированию рыночных цен, основанном на изучении торговых моделей и сравнении текущих и предыдущих значений специальных индикаторов состояния рынка. В частности, технический анализ может использоваться для прогнозирования колебаний курсов валют и работать с оперативной информацией о ставках и объемах торговли. Основная цель составления графиков прогноза динамики изменений финансовых показателей по результатам технического анализа заключается в том, чтобы выявить тенденции прогнозируемых изменений на ранних стадиях и в соответствии с этим выбирать торговые стратегии. Как правило, фундаментальный анализ считается приемлемым для построения долгосрочных прогнозов. В то же время он не всегда пригоден для оперативного принятия оптимальных решений на коротких временных интервалах. В техническом анализе используется набор доступных индикаторов, помогающих обнаружить тенденции изменения основных показателей биржевого рынка. В настоящее время существует уже более трехсот практически используемых технических индикаторов и количество их постоянно растет. Очевидно, что рассчитать и проанализировать поведение такого количества индикаторов без компьютерных средств невозможно.

1. Постановка задачи

Предлагаемый в настоящей статье подход к выбору технических индикаторов, используемых в модуле машинного обучения в компьютерных системах биржевой торговли, основан на автоматической оценке коэффициентов Стирлинга с последующим принятием стратегии использования

индикаторов. Адаптация структуры технических индикаторов к текущему состоянию биржевого рынка позволяет повысить эффективность применения методов машинного обучения с подкреплением в системах трейдингового прогнозирования.

Целью настоящей работы является разработка и тестирование системы определения стратегий трейдера на электронной бирже на основе выбора эффективного набора технических индикаторов в онлайн-режиме. При этом в качестве базового метода работы трейдинговой системы принят гибридный метод, предложенный в работе [4], который основан на комбинированном использовании Q-обучения и алгоритмов генетической оптимизации. В связи с этим были поставлены следующие задачи:

- разработать структуру трейдинговой системы на основе алгоритмов RL и ГА с переменным набором технических индикаторов;
- осуществить программную реализацию и тестирование предложенной системы.

Для тестирования оценки эффективности разрабатываемых алгоритмических и программных средств используем данные международного межбанковского валютного рынка FX (Foreign Exchange Market), доступные индивидуальным пользователям.

2. Критерии эффективности и технические индикаторы трейдинговой системы

Пусть трейдинговая система работает на основе рассмотренного в работе [4] одношагового алгоритма Q-обучения, не использующего непосредственно функцию перехода. В этом алгоритме для определения оптимальной стратегии используется Q-функция, итеративную процедуру обновления которой можно представить в следующем виде:

$$Q_{t+1}(s, a) \leftarrow r + \gamma \cdot \max_{a' \in A} Q_t(s', a'), \quad (1)$$

$$Q_{t+1}(s, a) = Q_t(s, a) + \alpha \cdot (r + \gamma \cdot \max_{a' \in A} Q_t(s', a') - Q_t(s, a)), \quad (2)$$

где a – действие, вызывающее переход среды из состояния s в состояние s' ; α ($0 \leq \alpha \leq 1$) – коэффициент нормирования значений Q-функции; $r_t = r(s_t, a_t)$ – сигнал подкрепления.

Для работы такого алгоритма на электронной бирже в составе трейдинговой системы необходимо в реальном времени получать значения доступных индикаторов, помогающих обнаружить тенденции изменения основных показателей биржевого рынка.

В значительной степени эффективность работы системы зависит от удачного выбора в онлайн-режиме индикаторов, значения которых используются для дальнейшей реализации торговых стратегий. Существуют различные способы оценки эффективности принимаемых стратегий. Например, в классических трейдинговых схемах широко

используется коэффициент Шарпа, определяемый отношением прогнозируемого дохода к риску торговой операции, оцениваемому как вероятность возникновения финансовых потерь. Более целесообразным для трейдинговых систем, построенных на основе обучения с подкреплением, представляется применение коэффициента Стирлинга, определяемого отношением прогнозируемого дохода к максимально возможным потерям, или коэффициента положительных исходов.

Сигналы покупок и продаж в соответствии с текущим анализом технических индикаторов могут формироваться различными способами. На практике часто используют в качестве сигнала для входа в рынок и выхода из него пересечение двух скользящих средних с разными периодами.

Если быстрое (с меньшим периодом) скользящее среднее пересекает медленное (с меньшим периодом) скользящее среднее снизу вверх – это сигнал к покупке, означающей вход в длинную позицию или выход из короткой позиции. Если же быстрое скользящее среднее пересекает медленное сверху вниз, то это сигнал к продаже, означающей выход из короткой или вход в длинную позицию. Эта техника названа методом двойных пересечений.

На рис. 1 приведен пример осуществления трейдинга по такому методу.

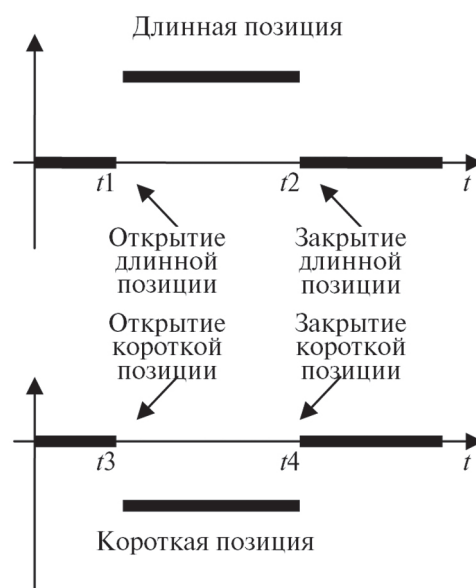


Рис. 1. Процесс трейдинга

Рассмотрим некоторые технические индикаторы, комбинации которых могут быть эффективно использованы в трейдинговой системе, работающей на основе алгоритмов RL и ГА по итерационным одношаговым вычислительным схемам Q-обучения типа (1) и (2).

1. *Скользящее среднее (moving average (MA))*. При расчете скользящего среднего производится математическое усреднение цены акции за данный период. По мере изменения цены ее среднее значение

либо растет, либо падает. 9-дневные и 40-дневные индикаторы МА определяется следующими зависимостями:

$$MA_9(n) = \frac{1}{9} \sum_{i=0}^9 C(n-i),$$

$$MA_{40}(n) = \frac{1}{40} \sum_{i=0}^{40} C(n-i),$$

где $C(n)$ – последняя цена закрытия.

Индикатор МА работает следующим образом: сигнал покупки возникает при 9-дневных скользящих средних, пересекающих 40-дневную снизу вверх. Когда 9-дневное скользящее среднее пересекает сверху вниз, то это сигнал к продаже. Это может быть записано в виде следующих условий:

$MABuy(n) = 1$ если $(MA_9(n-1) < MA_{40}(n-1))$ и $(MA_9(n) > MA_{40}(n))$.

$MA Sell(n) = 1$ если $(MA_9(n-1) > MA_{40}(n-1))$ и $(MA_9(n) < MA_{40}(n))$.

Если в период n $MABuy(n) = 1$, то формируется сигнал покупки.

Соответственно, если в период n $MA Sell(n) = 1$, тогда формируется сигнал продажи.

2. *Схождение/расхождение скользящих средних (MACD)*. При определении значения индикатора MACD рассматриваются две линии. Линия MACD представляет собой разность между двумя экспоненциальными скользящими средними закрытия цен и очень быстро реагирует на трендовые движения. Линия сигнала экспоненциально сглаженной средней линии MACD реагирует медленно на трендовые движения. Для расчета MACD необходимо вычислить 12-й и 26-й периоды экспоненциальной скользящей средней (EMA):

$$EMA_{12}(n) = \frac{2}{12+1} C(n) + (1 - \frac{2}{12+1}) EMA_{12}(n-1),$$

$$EMA_{26}(n) = \frac{2}{26+1} C(n) + (1 - \frac{2}{26+1}) EMA_{26}(n-1),$$

$$MACD(n) = EMA_{12}(n) - EMA_{26}(n),$$

$$EMA_{12}(1) = EMA_{26}(1) = C(1).$$

$MACDBuy = 1$, если $(MACD(n-1) < SignalLine(n-1))$ и $(MACD(n) > SignalLine(n))$.

$MACDSell = 1$, если $(MACD(n-1) > SignalLine(n-1))$ и $(MACD(n) < SignalLine(n))$.

3. *Медленный стохастический индикатор*. Стохастический индикатор показывает положение текущей цены относительно диапазона цен за определенный период в прошлом. Стохастика определяется линиями %K и %D:

$$\%K(n) = 100 * \frac{C(n) - L14(n)}{H14(n) - L14(n)},$$

где $L14(n)$ – самая низкая цена за последние 14 периодов;

$L14(n) = \min(Low(n), Low(n-1), ..., Low(n-13));$

$H14(n)$ – самая высокая цена за последние 14 периодов;

$H14(n) = \max(High(n), High(n-1), ..., High(n-13));$

где Low и $High$ – соответствующие компоненты окна цен интерфейса трейдинговой системы;

$$\%D(n) = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^2 \%K(n-i),$$

$$\%Dslow(n) = \frac{1}{3} \sum_{i=0}^2 \%D(n-i).$$

$StochasticBuy(n) = 1$, если $(\%D(n) < 20)$ и $(\%Dslow(n) < 20)$ и $(\%D(n-1) < \%Dslow(n-1))$ и $(\%D(n) > \%Dslow)$.

$StochasticSell(n) = 1$, если $(\%D(n) > 80)$ и $(\%Dslow(n) > 80)$ и $(\%D(n-1) > \%Dslow(n-1))$ и $(\%D(n) < \%Dslow)$.

4. *Индекс относительной силы (RSI)*. Индикатор RSI используется для выявления на рынке условий перекупленности и перепроданности:

$$RSI(n) = 100 - \frac{100}{1 + RS(n)},$$

$$RS(n) = \frac{[(Average\ Gain(n-1)) * 13 + Current\ Gain(n)] / 14}{[(Average\ Loss(n-1)) * 13 + Current\ Loss(n)] / 14}$$

где $Current\ Gain(n) = \max(C(n) - C(n-1), 0)$,

$Current\ Loss(n) = \max(C(n-1) - C(n), 0)$,

$$Average\ Gain(n) = \frac{1}{14} \sum_{i=0}^{13} \max(C(n-i) - C(n-i-1), 0),$$

$$Average\ Loss(n) = \frac{1}{14} \sum_{i=0}^{13} \max(C(n-i-1) - C(n-i), 0).$$

$RSIBuy(n) = 1$, если $(RSI(n-1) < 30)$ и $(RSI(n) > 30)$,
 $RSISell(n) = 1$, если $(RSI(n-1) > 70)$ и $(RSI(n) < 70)$.

5. *Индекс источника товара (CCI)*. Индикатор CCI предназначен для определения циклических поворотов в движении курса валют. Как осциллятор перекупленности/перепроданности, CCI основан на сравнении текущей цены со скользящей средней за выбранный период времени:

$$TypicalPrice(n) = \frac{C(n) + High(n) + Low(n)}{3},$$

$$SMATP(n) = \frac{1}{20} \sum_{i=0}^{19} TypicalPrice(n-i),$$

$$CCI(n) = \frac{TypicalPrice(n) - SMATP(n)}{0.015 * MeanDeviation(n)}.$$

$CCIBuy(n) = 1$, если $(CCI(n-1) < 100)$ и $(CCI(n) > 100)$
 $CCISell(n) = 1$, если $(CCI(n-1) > -100)$ и $(CCI(n) < -100)$.

6. *Осциллятор импульса*. Этот индикатор характеризует скорость изменения цен в отличие от текущего уровня цены:

$$Momentum(n) = C(n) - C(n-10).$$

$MomentumBuy(n) = 1$, если $(Momentum(n-1) < 0)$ и $(Momentum(n) > 0)$,

$MomentumSell(n) = 1$, если $(Momentum(n-1) > 0)$ и $(Momentum(n) < 0)$.

7. *Осциллятор цены*. Этот индикатор основан на различии между двумя экспоненциальными скользящими средними:

$$PO(n) = \frac{EMA_{10}(n) - EMA_{20}(n)}{EMA_{20}(n)},$$

где ЕМАк вычисляется с использованием того же подхода, что и для расчета MACD.

$POBuy(n) = 1$, если $(PO(n-1) < 0)$ и $(PO(n) > 0)$,

$POSell(n) = 1$, если $(PO(n-1) > 0)$ и $(PO(n) < 0)$.

8. *Индикатор Вильямса*. Этот стохастический индикатор используется для оперативной оценки перекупленности/перепроданности рынка:

$$LW(n) = -100 * \frac{H14(n) - C(n)}{H14(n) - L14(n)}.$$

$L14(n) = \min(Low(n), Low(n-1), ..., Low(n-13))$,

$H14(n) = \max(High(n), High(n-1), ..., High(n-13))$.

$LWBuy(n) = 1$, если $(LW(n-1) < -80)$ и $(LW(n) > -80)$,

$LWSell(n) = 1$, если $(LW(n-1) > -20)$ и $(LW(n) < -20)$.

9. *Индикатор Боллинджера*. Этот индикатор основан на анализе двух трейдинговых полос, расположенных вокруг скользящей средней. Верхняя и нижняя полосы — стандартные отклонения верхней и нижней скользящей средней:

$$UpperBand(n) = AveragePrice(n) + 3 * StDev(n),$$

$$LowerBand(n) = AveragePrice(n) - 3 * StDev(n),$$

$$AveragePrice(n) = \frac{1}{20} \sum_{i=0}^{19} C(n-i),$$

$$StDev(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{19} (C(n-i) - AveragePrice(20))^2}{20}}.$$

$BBandBuy(n) = 1$, если $(C(n-1) < LowerBand(n-1))$ и $(C(n) > LowerBand(n))$,

$BBandSell(n) = 1$, если $(C(n-1) > UpperBand(n-1))$ и $(C(n) < UpperBand(n))$.

10. *Балансовый объем*. Этот индикатор используется для подтверждения или определения изменения тренда цены:

$$OBV(n) = OBV(n-1) + \frac{C(n) - C(n-1)}{abs(C(n) - C(n-1))} * V(n),$$

где $V(n)$ — # изменение биржевой цены на оси цены.

Линии OBV должны следовать в том же направлении, что и тренд цены. Если этого не происходит, то возможно изменение тренда цены.

$OBVBuy(n) = 1$, если $(OBV(n-3) > OBV(n-2))$ и $(OBV(n-2) < OBV(n-1))$ и $(OBV(n-1) < OBV(n))$ и $(C(n-3) > C(n-2))$ и $(C(n-2) > C(n-1))$ и $(C(n-1) > C(n))$, $OBVSell(n) = 1$, если $(OBV(n-3) < OBV(n-2))$ и $(OBV(n-2) > OBV(n-1))$ и $(OBV(n-1) >$

$OBV(n))$ и $(C(n-3) < C(n-2))$ и $(C(n-2) < C(n-1))$ и $(C(n-1) < C(n))$.

3. Определение оптимального набора технических индикаторов с помощью генетического алгоритма

Для применения ГА к задачам определения торговых стратегий каждую хромосому можно интерпретировать как возможное решение трейдинговой системы в текущей ситуации (при этом в качестве таких решений принимают обычно выбор короткой, длинной или нейтральной позиций трейдера). Алгоритм принятия текущих решений должен использовать бинарные значения набора индикаторов рынков. Эти значения могут быть объединены в бинарные строки ГА. Например, в случае упомянутого выше метода двойных пересечений формируется сигнал продажи, когда короткие средние движения ниже более длинных. Индикатор «MASell», соответствующий этому сигналу, принимает двоичное значение 1, когда условие для сигнала продажи выполнено, и значение 0 в противном случае.

Отметим, что инструкция по продаже в этом правиле кодируется как «0» в младшем разряде строки. Правило принятия длинной позиции при покупке формирует «1» в этом бите. Правила для принятия короткой или длинной позиций называются правилами входов, потому что они побуждают трейдера активно участвовать в торговле. Трейдинговая система задает также и другие правила (например, правило возврата к нейтральной позиции). Длина правил и кодирующих их двоичных строк увеличивается с увеличением количества используемых в трейдинговой системе индикаторов. Совокупность таких правил может рассматриваться как стратегия. Очевидно, что при большом числе комбинаций значений индикаторов и связующих операторов ГА не в состоянии охватить все пространство стратегий, чтобы найти оптимум. В предлагаемой системе используются 10 индикаторов как для покупок, так и для продаж, то есть всего 20 индикаторов.

В среднем генерируемые в предлагаемом методе правила используют 8 индикаторов, так что общее число возможных правил составляет $6.5 * 10^{11}$.

Исследования возможности применения ГА в трейдинговой системе показали возможность оперативного определения для текущей биржевой ситуации наиболее полезных индикаторов и правил, которые могут быть использованы для представления состояния окружающей среды. Таким образом, мы можем принять во внимание все перспективные комбинации индикаторов.

4. Определение структуры трейдинговой системы с переменным набором технических индикаторов

На рис. 2 приведена общая схема принятия решений в предлагаемом варианте трейдинговой системы, предназначенной для работы в онлайн-режиме.

В соответствии с предлагаемой гибридной схемой выбранные с помощью ГА стратегии поступают в RL-модуль, основанный на алгоритме Q-обучения.

Рассмотрим теоретическую ситуацию, где модуль ГА идентифицировал описанные выше индикаторы RSIBuy и CCISell как полезные предсказатели.

Их комбинациям соответствует некоторый набор состояний.

Очевидно, что набор индикаторов и состояний позволяет сформировать Q-таблицу, используемую на этапе принятия трейдинговой системой следующих решений: SELL (продажа), BUY (покупка) или NEUTRAL (отсутствие торговых операций).

В процессе реализации трейдинговой системой стратегии, максимизирующей прибыль, сигнал подкрепления определяет разность между значениями функции приспособленности в смежные моменты времени. Анализ знака этой разности обеспечивает основной механизм для принятия длинных и коротких позиций. Но также необходимо предусмотреть и возможность принятия нейтральной позиции. Это требует задания порога, который позволил бы избежать ложных переходов от нейтральной позиции, вызванных незначительными колебаниями рынка. Общий алгоритм работы предложенного варианта трейдинговой системы состоит в выполнении следующих действий:

1. Зададим исходный набор индикаторов и разделим их на индикаторы продаж (SELL) и покупок (BUY).

2. Инициализируем модуль ГА с бинарным кодированием возможных решений, задающих два типа торговых стратегий — открытие (стратегия входа) и закрытие (стратегия выхода).

3. Для всех особей исходной популяции (вариантов решений) рассчитать значения всех индикаторов продаж (SELL) и покупок (BUY) для формируемых входных и выходных стратегий.

4. Если стратегия выхода не активирована и стратегия входа = 1, то принять длинную или короткую позицию (в зависимости от типа стратегии входа).

5. Если стратегия входа активирована и стратегия выхода = 1, то принять нейтральную позицию, закрыв текущую.

Во всех остальных случаях не изменять текущую позицию.

6. Оценить функцию пригодности.

7. Выполнить операции односточечного кроссовера и мутации.

8. Повторять циклы ГА до выполнения заданного условия останова. Полученное решение считать оптимальным.

9. Набор индикаторов продаж (SELL) и покупки (BUY) для правил, соответствующих оптимальному решению, передать в модуль RL.

10. Инициализировать таблицу Q-обучения с состояниями, основанными на индикаторах и действиях продаж (SELL) и покупки (BUY).

11. Рассчитать значения всех индикаторов продаж (SELL) и покупок (BUY), определяющих состояния в Q-таблице.

12. Выполнить действие (принятие длинной, короткой или нейтральной позиций) и обновить Q-таблицу.

5. Программная реализация трейдинговой системы

Программно-алгоритмическая реализация предложенного подхода предусматривает возможность текущего анализа финансовых показателей, с использованием данных международного межбанковского валютного рынка FX при формировании стратегий трейдинга. Система автоматически подключается к серверу брокера, загружает данные с сервера и анализирует ситуацию на рынке с использованием комбинаций индикаторов. Пока ос-

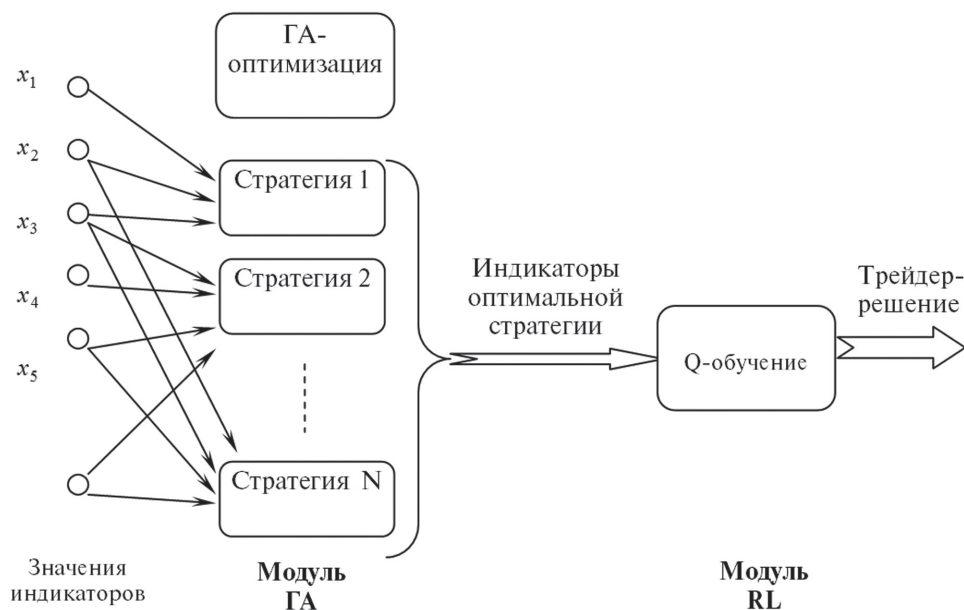


Рис. 2. Общая схема принятия решений

новная программа соединяется с сервером брокера, пользователь может следить за процессом в окне Information, предусмотренным интерфейсом системы. Для начального соединения в окне, вид которого приведен на рис 3, пользователь должен указать адрес сервера, порт, свое имя и пароль, представленный компанией, которая предоставляет доступ к рынку. Для приведенного примера адрес сервера — '217.74.32.254', порт — '1950', имя пользователя — '630973' и пароль скрыт в обычном режиме.

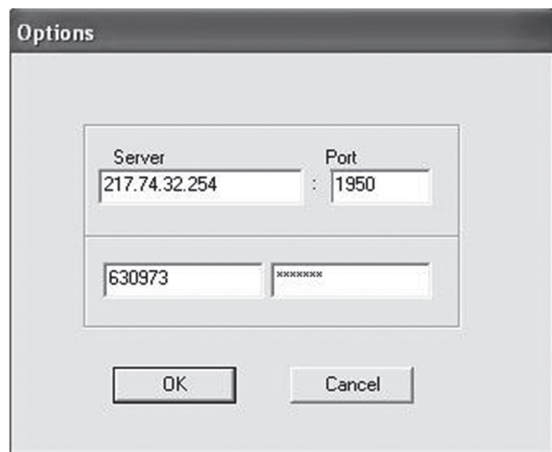


Рис. 3. Ввод параметров соединения

Анализ ситуации на рынке осуществляется программой в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2. Когда пользователь первый раз запускает программу, загруженные данные передаются в модуль ГА, который выбирает наиболее прибыльные индикаторы на текущее время. Затем индикаторы, установленные ГА, поступают в модуль RL. Когда новые данные поступают в систему с сервера, рассчитываются значения индикаторов, которые используются для оценки текущего состояния окружающей среды. Затем, основываясь на такой оценке, модуль RL формирует рекомендации для трейдера и осуществляет обновление Q-значений на основе индикаторов, представленных в модуле ГА. Система предназначена для внутрисуточной торговли, при этом трейдер получает рекомендации каждые 5 — 60 минут.

6. Тестирование системы

Тестирование разработанной системы осуществлялось для суточных FX- ставок EUR/USD и GBP/USD. При этом полученные данные были разбиты на периоды in-sample и out-sample. Период in-sample использовался для определения наилучшей стратегии использования ГА и метода RL. Период out-sample использовался для тестирования этой стратегии. Данные in-sample и out-sample, относящиеся к периоду с 27.09.2010 по 27.12.2010, содержали по 57000 суточных записей для суточной ведомости. При тестировании были заданы следующие параметры ГА и RL: начальная популяция — 180 стратегий; вероятность кроссовера — 0,5; вероятность мутации — 0,02; $\alpha = 0,5$, $\gamma = 0,85$.

Система смогла обеспечить положительную доходность на рассмотренных финансовых рядах.

Выводы

Использование комбинации технических индикаторов для реализации RL-алгоритма приводит к повышению эффективности трейдинговой системы.

RL-алгоритм может быть расширен путем усложнения процедуры Q-обучения при определении оптимальных стратегий. Для настройки модуля выбора комбинации индикаторов необходимо экспериментально определить параметры ГА. Предложенный подход позволяет реализовать в онлайн-режиме выработку рекомендаций трейдеру по выбору торговых стратегий. Полученные результаты могут быть использованы для разработки торговых биржевых автоматов.

Список литературы: 1. Dempster, M. Intraday FX trading: An evolutionary reinforcement learning approach. Intelligent data engineering and automated learning./ M.Dempster, Y.Romahi// Proceedings of the IDEAL 2002 International Conference. — 2002.— P. 347-358. 2. Sutton, R. Learning to Predict by the Methods of Temporal Differences, Machine Learning, 3, pp. 9-44, 1998. 3. Гришко, А. Применение гибридных методов машинного обучения в компьютерных трейдинговых системах [Текст] / А.Гришко, С.Удовенко, Л.Чала // Системные технологии. — №3(68). — 2010. — С. 84-92. 4. Hryshko, A. An Implementation of Genetic Algorithms as a Basis for a Trading System on the Foreign Exchange Market./ A.Hryshko, T. Downs// Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation. — 2003. — P.1695-1701.

Поступила в редколлегию 10.03.2011.

УДК 519.62

Інтелектуальна система формування біржових стратегій з використанням комбінованих індикаторів / А.О. Гришко, С.Г. Удовенко, Л.Е. Чала // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 88—93.

У статті розглядається метод вибору стратегій трейдера у системах біржової торгівлі, що базується на визначенні набору технічних індикаторів за допомогою генетичної оптимізації. Використовують методи машинного навчання з підкріпленням. Запропонована схема алгоритму дозволяє перевищити за своїми характеристиками інші алгоритми машинного навчання, які використовуються на фінансових ринках. Методи реалізовано програмно та протестовано.

Л. 3. Бібліогр.: 4 найм.

УДК 519.62

Intellect system of market strategies synthese based on combined indicators / A.A. Hryshko, S.G. Udovenko, L.E. Chalaya. // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 88—93.

This paper is devoted to application of trading strategies synthese for computing markets systems based on combined indicators and genetic optimization. The algorithms developed is shown to outperform other machine reinforcement learning algorithms used on financial markets. The principles of trading markets based on the development of novel trading strategies are considered. The new methods are implemented in software. The results of testing of methods are presented.

Fig. 3. Ref.: 4 items.

УДК 519.7: 004.8



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ИНТЕГРАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.А. Воскобойникова

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,
voskoboynikova@gmail.com

Рассмотрена интеграция информационных систем на уровнях данных, приложений, бизнес-логики, знаний. Предложена модель интеграции информационных систем, которая основана на объединении интеграции информационных систем на всех уровнях в единую процедуру, которая описывает знание о взаимодействии интегрируемых систем. Проведена оценка сложности предложенной модели. Описаны компоненты модели, описывающей взаимодействие интегрируемых информационных систем.

ИНТЕГРАЦИЯ ИС, РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ИС, УРОВЕНЬ ДАННЫХ ИС, УРОВЕНЬ ПРИЛОЖЕНИЙ ИС, УРОВЕНЬ БИЗНЕС-ЛОГИКИ ИС, УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ ИС

Введение

Интеграция распределенных разнородных информационных систем — одна из наиболее острых проблем современной IT-индустрии, которая возникла с появлением первых информационных систем и не решена полностью до сих пор. Выделяют несколько уровней интеграции информационных систем, которые опираются на специфику внутренней организации системы, ее назначения: уровень данных, уровень приложений, уровень бизнес-логики и уровень знаний. Необходимо реализовать модель интеграции распределенных информационных систем, которая включала бы все уровни жизнедеятельности систем.

1. Уровни интеграции информационных систем

Главной целью интеграции информационных систем на уровне данных является возможность создания единого информационного пространства организации, которое бы удовлетворяло требованиям представления и обработки данных для всех систем, которые к нему обращаются. Это предоставит возможность унифицировать процессы обращения к единому хранилищу данных от всех интегрируемых систем, что даст основу для формирования единой структуры бизнес-логики всех систем организации. Для интеграции корпоративных информационных систем на уровне данных разработаны методы организации общего доступа к корпоративным данным, которые не зависят от средств систем и от средств реализации самих методов: метод консолидации данных, метод федерализации данных, метод распространения данных [1].

На уровне интеграции приложений рассматривается возможность совместного использования механизмов обработки данных организации, которые являются неотъемлемой частью информационных систем. Основной технологией интеграции корпоративных приложений является Enterprise Application Integration (EAI), т.е. технология, с помощью которой организация добивается централизации и оптимизации интеграции корпоративных

приложений, используя те или иные формы технологии оперативной доставки информации, которая управляется внешними событиями. Такой вариант интеграции называют Application-to-Application (A2A), что описывает интеграцию систем на уровне «приложение-приложение». Существует два основных подхода для организации интеграции информационных систем с использованием технологии EAI: «точка-точка», «хаб-спицы».

Интеграция информационных систем на уровне приложений может также проходить при использовании технологии WorkFlow.

Отдельно выделяют технологию интеграции, ориентированную не на интеграцию систем, приложений и данных в пределах одной организации, а на организацию взаимодействия нескольких организаций — это системы интеграции между организациями (межведомственной интеграции) Business-to-Business (Business-to-Business Integration, B2Bi). Business-to-Business Integration так же, как и WorkFlow, является технологией, которая при интеграции приложений обращается к бизнес-логике интегрируемых систем и оперирует понятием «бизнес-процесс».

Также корпоративные приложения можно интегрировать посредством применения технологии Web-сервисов. Эта технология позволяет создавать интерфейсы для приложений и данных информационной системы в стандартизированном виде, что позволяет использовать их за пределами информационной системы, в которой они были созданы.

Интеграция информационных систем на уровне бизнес-процессов предполагает создание, описание и выполнение новых процессов, которые описывают бизнес-логику взаимодействия интегрируемых систем [2]. Причем следует отметить, что такая модель интеграции разделяет логику механизмов интеграции от их реализации. Таким образом, интеграция информационных систем проводится на двух уровнях:

1) описывается логика взаимодействия интегрируемых систем путем создания бизнес-процес-

сов, описывающих взаимодействие организаций и их информационных систем;

2) при помощи технологий интеграции данных и приложений реализуется интеграция информационных систем организаций.

Интеграция информационных систем на уровне знаний реализуется на основе применения технологии Semantic Web, т.к. она обеспечивает следующие возможности по управлению знаниями интегрируемых систем [3]:

- посредством Semantic Web стандартизируется описание потоков обмена информацией между организациями;
- выполняется интеграция информации организаций с приложениями;
- определяются процедуры взаимодействия приложений в организации, а также взаимодействие приложений организаций;
- обеспечивается возможность совместного менеджмента знаний для поддержки распределенных операций и команд.

2. Общие положения интеграции распределенных информационных систем

Определим интеграцию как произвольного рода взаимодействие двух и более информационных систем в ходе выполнения их непосредственных задач с целью получения некоторого полезного эффекта. При этом взаимодействие может быть произвольного рода: сотрудничество, предоставление отдельных сервисов, предоставление заданной информации, использование вычислительных, материальных, человеческих ресурсов одной системы другой и т.д.

Распределенные информационные системы – набор произвольных информационных систем (двух или более), которые разделены в простран-

стве. При этом заданные информационные системы – это не совокупность программных, технических и вычислительных ресурсов предприятия, а единая корпоративная система, которая включает в себя все ресурсы предприятия: информацию, знания, человеческие и материальные ресурсы.

Процесс интеграции распределенных информационных систем можно описать следующим кортежем:

$$I = \{Syst, Meth\}. \quad (1)$$

Процесс интеграции I задается с помощью множества всех информационных систем $Syst$, которые участвуют в интеграции, и множества всех взаимодействий между интегрируемыми системами $Meth$. При этом важным является то, что каждая из интегрируемых систем $Syst_i$ может взаимодействовать с любой другой системой $Syst_j$ из общего множества всех информационных систем, которые участвуют в заданной интеграции I , посредством произвольного, допустимого и определенного метода взаимодействия $Meth_k$.

Под методом взаимодействия между интегрируемыми системами $Meth_k$ будем понимать один или множество бизнес-процессов, которые описывают произвольные допустимые средства кооперации между парой заданных систем $\{Syst_i, Syst_j\}$.

3. Оценка сложности модели интеграции информационных систем

Основываясь на положениях теории графов, при интеграции n систем количество методов m взаимодействия определяется следующим образом:

1) если каждая из систем $Syst_i$ связана со всеми другими системами, которые участвуют в интеграции, и при этом все взаимодействия $Meth_k$ являются двусторонними:

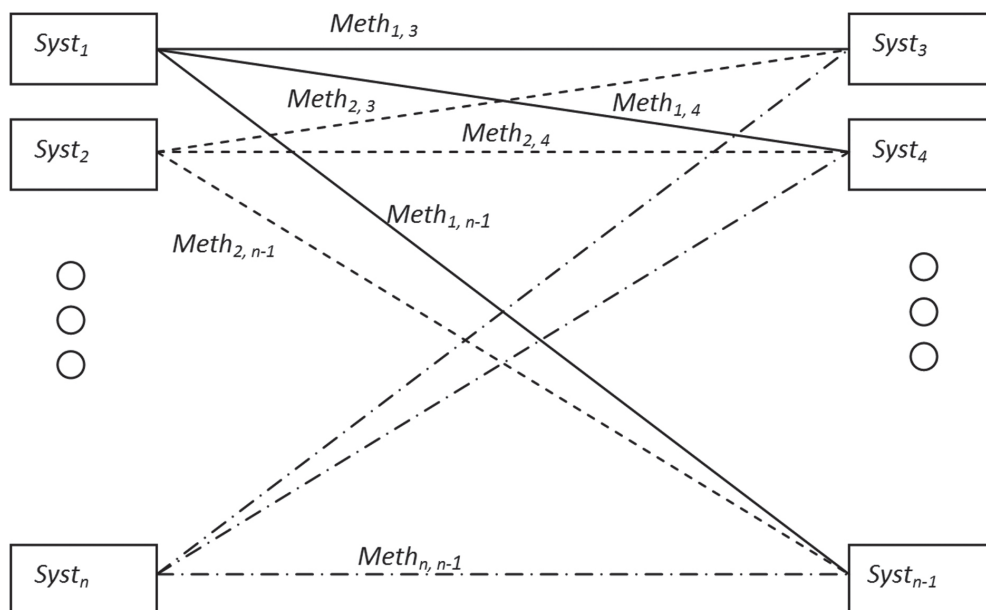


Рис. 1. Общая схема взаимодействия n интегрируемых информационных систем

$$m = \frac{n(n-1)}{2}; \quad (2)$$

2) если каждая из систем $Syst_i$ связана со всеми другими системами, которые участвуют в интеграции, и при этом все взаимодействия $Meth_k$ являются односторонними:

$$m = n(n-1); \quad (3)$$

3) если каждая из систем $Syst_i$ связана с произвольным числом интегрируемых систем, и при этом все взаимодействия $Meth_k$ являются двусторонними:

$$1 \leq m < \frac{n(n-1)}{2}; \quad (4)$$

4) если каждая из систем $Syst_i$ связана с произвольным числом интегрируемых систем, и при этом все взаимодействия $Meth_k$ являются односторонними:

$$1 \leq m < n(n-1); \quad (5)$$

Следовательно, число методов интеграции никогда не будет превышать $n(n-1)$.

Для описания методов взаимодействия также следует учесть, что при реализации бизнес-процессов между интегрируемыми системами необходимо будет описывать формальные параметры взаимодействия, например, учет конфиденциальности различного рода информации, установление типов ресурсов системы, которые могут участвовать во взаимодействии с другой системой и т.д. Таким образом, само взаимодействие $Meth_k$ — это множество условий и ограничений на возможные бизнес-процессы между заданной парой информационных систем.

4. Параметры интеграции распределенных информационных систем

Учитывая, что бизнес-процессы, которые протекают между интегрируемыми информационными системами, могут использовать все виды ресурсов заданных корпоративных систем, при выделении критериев интеграции необходимо учитывать все возможные уровни интеграции информационных систем: уровень данных, уровень приложений, уровень бизнес-логики и уровень знаний. Таким образом, процесс интеграции информационных систем I содержит в себе не только знания об интегрируемых системах, но и перечень параметров заданных систем, которые описывают все уровни их деятельности.

Исходя из анализа интеграции информационных систем на уровне данных, для описания взаимодействия систем на уровне данных, а также для обеспечения эффективной интеграции систем на уровне данных, должны быть удовлетворены следующие условия:

1) обеспечение совместного доступа систем к базам и хранилищам данных, которые необходимо обрабатывать в процессе взаимодействия;

2) описание формата данных и формата их хранения;

3) разграничение и описание прав доступа к данным каждой из взаимодействующих систем;

4) описание средств и методов обработки данных;

5) описание знания об участвующих во взаимодействии данных и методах их обработки.

Следовательно, для описания параметров уровня данных, которые участвуют в заданном взаимодействии, необходимо определить следующий кортеж:

$$DataLevel = \{DB, F, AR, PM, Kn\}, \text{ где} \quad (6)$$

— $DataLevel$ — набор параметров уровня данных, которые участвуют в заданном взаимодействии;

— $DB, Data Base$ — перечень баз и хранилищ данных, которые содержат данные, участвующие в заданном взаимодействии, с указанием точки доступа к ним и интерфейса обращения;

— $F, Format$ — формат данных, участвующих в заданном взаимодействии;

— $AR, Access Rights$ — указание прав доступа на запись/чтение к участвующим во взаимодействии данным;

— $PM, Processing Methods$ — указание методов обработки, которые доступны на наборе данных, участвующих в заданном взаимодействии

— $Kn, Knowledge$ — формально описанные знания об участвующих во взаимодействии данных и методах их обработки.

Для совместного использования интегрируемыми системами приложений друг друга, т.е. для обеспечения взаимодействия на уровне приложений, необходимо учитывать следующие параметры:

1) формат данных (Df) и знание (KnD) об их природе, с которыми работает приложение, которое участвует в заданном взаимодействии;

2) формат результата (Rf), который получается в результате работы приложения, а также знание (KnR) о его природе;

3) точка доступа (Ap) к приложению и информация о правах доступа (Ar) к нему.

Таким образом, кортеж, который описывает параметры уровня приложений ($ApplicationLevel$), которые участвуют в заданном взаимодействии, можно представить следующим образом:

$$ApplicationLevel = \{Df, KnD, Rf, KnR, Ap, Ar\} \quad (7)$$

Исходя из последних тенденций взаимодействия информационных систем на уровне приложений, реализация $ApplicationLevel$ может быть представлена как Web-сервис, технологии организации которых предоставляют возможность корректно описать всю информацию, содержащуюся в заданном кортеже.

Суть интеграции информационных систем на уровне бизнес-логики заключается в следующем:

взаимодействие систем на уровне бизнес-логики предусматривает более широкий охват деятельности предприятий, который включает не только информационную корпоративную среду, но и все ресурсы взаимодействующих предприятий. К таким ресурсам относятся не только данные интегрируемых предприятий и их информационные системы, но и сотрудники и знания для решения задач предприятия, которыми они обладают, материальные ресурсы предприятия, интеллектуальная собственность и т.п.

Следовательно, для описания взаимодействия информационных систем на уровне бизнес логики необходимо создать кортеж *BusinessLevel*, который содержит в себе информацию обо всех ресурсах Res_i системы, которые участвуют во взаимодействии и знание об их природе (формула 8).

$$BusinessLevel = \{Res_1, Res_2, \dots, Res_n\}. \quad (8)$$

Знание о ресурсах, участвующих в заданном взаимодействии, можно задать двумя способами:

1) рассматривать Res_i как множество, которое состоит из описания ресурса и формально представленного знания о его природе;

2) представить описание кортежа *BusinessLevel* в виде онтологической структуры.

Интеграция информационных систем на уровне знаний предполагает, что в основе интегрируемых систем лежит некоторая модель представления знаний, которая описывает деятельность предприятий, информационные системы которых участвуют в заданном взаимодействии. Устранить подобное ограничение возможно при создании формального описания знания о взаимодействии интегрируемых систем. Для этого в описание критериев взаимодействия интегрируемых систем на различных уровнях организации были введены соответствующие компоненты:

1) в параметры интеграции на уровне данных *DataLevel* – параметр Kn , который представляет формально описанные знания об участвующих во взаимодействии данных и методах их обработки;

2) в параметры интеграции на уровне приложений *ApplicationLevel* – параметр KnD , который описывает знание о данных, которые обрабатывает приложение, участвующее во взаимодействии интегрируемых систем.

На уровне интеграции *BusinessLevel* предусмотрены различные форматы описания интегрируемых ресурсов с возможностью включения в такое описание знания о них.

Выводы

В работе была рассмотрена проблема интеграции распределенных информационных систем. В результате проведенного анализа существующих интеграционных механизмов была предложена модель интеграции, которая основана на описании всех взаимодействий интегрируемыми системами, которые происходят в процессе их совместной деятельности. На основе выделенных компонентов интеграции предполагается дальнейшая разработка модели процесса интеграции распределенных информационных систем.

Список литературы. 1. Data Integration: The Key to Effective Decisions [Электронный ресурс]: MAS Strategies, Business Objects. – Режим доступа: [www / URL: http://www.businessobjects.com/global/pdf/whitepapers/data_integration.pdf](http://www.businessobjects.com/global/pdf/whitepapers/data_integration.pdf) – 28.02.2011 г. – Загл. с экрана. 2. Интеграция корпоративных приложений: основные понятия [Электронный ресурс]: пер. Intersoft Lab, www.iso.ru. – Режим доступа: [www / URL: http://citcity.ru/11132/](http://citcity.ru/11132/) – 19.01.2005 г. – Загл. с экрана. 3. Chum F. Use Case: Ontology-Driven Information Integration and Delivery A Survey of Semantic Web Technology in the Oil and Gas Industry [Электронный ресурс]: Semantic Web Use Cases and Case Studies – Chevron Information Technology Company, USA – Режим доступа: [www / URL: http://www.w3.org/2001/sw/sweo/public/Use-Cases/Chevron/](http://www.w3.org/2001/sw/sweo/public/Use-Cases/Chevron/) – 28.02.2011 г. – Загл. с экрана.

Поступила в редколлегию 11.03.2011.

УДК 519.7: 004.8

Визначення параметрів моделі інтеграції розподілених інформаційних систем / Г.А. Воскобойникова // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2011. – № 1 (75). – С. 94–97.

Інтеграція інформаційних систем може бути реалізована на наступних рівнях: даних, прикладань, бізнес-логіки та знань. Та зазвичай вони реалізовані окремо та лише інколи частоко взаємодіють. Тому необхідним є створення методу інтеграції розподілених інформаційних систем, який би містив всі рівні інтеграції. У роботі виділені та описані компоненти такої моделі.

Л. 1. Бібл.: 3 найм.

UDC 519.7: 004.8

Identify parameters of distributed information systems integration model / A.A. Voskoboynikova // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2011. – № 1 (75). – P. 94–97.

Information system integration occurs at the following levels: data level, application level, business-logic level and knowledge level. Usually they are used separately, and only occasionally interact. Therefore, should be created method for integration of distributed information systems, which includes all levels of integration. In paper identified and described the components of this model.

Fig. 1. Ref.: 3 items.

УДК 004.02



МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ QRS-КОМПЛЕКСОВ ЭКГ-СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ТРЕШОЛДИНГА

В.И. Дубровин¹, Ю.В. Твердохлеб²

¹ Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, vdubrovin@gmail.com;

² Запорожский национальный технический университет,
г. Запорожье, Украина, tv_julia@mail.ru

Предлагается метод обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигналов на основе вейвлет-преобразования с применением вейвлет-трешолдинга. Обоснован выбор типа вейвлет-носителя для применения в дискретном вейвлет-преобразовании, а также выбор метода вейвлет-трешолдинга, обеспечивающий наибольшую точность в обнаружении QRS-комплексов.

ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ВЕЙВЛЕТ-ТРЕШОЛДИНГ, ЭКГ-СИГНАЛЫ

Введение

Электрокардиограмма (ЭКГ) представляет собой запись электрических потенциалов активности сердца, снятую с одного или нескольких отведений, и состоит из периодической последовательности кардиоциклов. В типичном кардиоцикле выделяют несколько элементов: Р-волна, QRS-комплекс и Т-волна (рис. 1). Отправной точкой ряда современных методик компьютерной электрокардиографии является выделение положения QRS-комплекса. Этот комплекс отражает процесс деполяризации желудочков. Зная информацию об QRS-комплексе, можно выявить такие заболевания как: инфаркт миокарда, тахикардия, блокада правой и левой ножки пучка Гиса, синдром Вольфа-Паркинсона-Уайта.

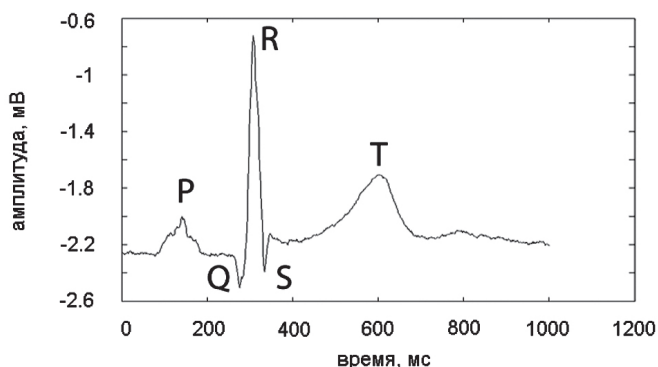


Рис. 1. Типичный комплекс электрокардиограммы

В настоящее время для анализа ЭКГ-сигнала перспективно применение вейвлет-анализа. Вейвлеты — это обобщенное название семейств математических функций определенной формы, которые локальны по времени и по частоте, и в которых все функции получаются из одной базовой (порождающей) функции посредством ее сдвигов и растяжений по оси времени. В общем случае вейвлет-преобразование функции $f(t)$ имеет вид (1) [1]:

$$W(x,s) = \frac{1}{s} \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \left(\frac{t-x}{s} \right) f(t) dt, \quad (1)$$

где t — ось времени; x — момент времени; s — параметр, обратный частоте; $*$ — символ комплексной сопряженности; ψ — некоторая функция.

Основная область применения вейвлетных преобразований — анализ и обработка сигналов и функций, нестационарных во времени или неоднородных в пространстве, когда результаты анализа должны содержать не только частотную характеристику сигнала, но и сведения о локальных координатах. По сравнению с разложением сигналов на ряды Фурье вейвлеты способны с гораздо более высокой точностью представить локальные особенности сигналов, вплоть до разрывов первого рода.

Целью авторов работы является разработка метода обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигнала, обеспечивающего наибольшую точность.

1. Выбор типа вейвлет-носителя

В теории вейвлет-преобразования существует множество вейвлет-функций, которые могут использоваться в качестве базиса разложения и соответствующих им фильтров. Под оптимальным вейвлетом будем иметь в виду тот, который обеспечивает правильное местоположение QRS-комплекса в ЭКГ-сигнале, т.е. начальное и конечное положение Q, R и S зубцов. Введем следующие ограничения: базовый вейвлет может быть применен к дискретному вейвлет-преобразованию, порядок высокочастотных и низкочастотных фильтров, предназначенных для выделения детализирующей и аппроксимирующей составляющих, не должен превышать 10 (из-за большой ресурсоемкости). Результаты сравнений вейвлет-функций, удовлетворяющие перечисленным выше требованиям, отображены в табл. 1.

Согласно полученным результатам наилучшим вейвлет-носителем является вейвлет № 2 из семейства Добеши (db) на втором уровне разложения.

Таблица 1

Сравнение вейвлет-функций

Семейство вейвлета	Номер функции в семействе	Количество фильтров	Средняя ошибка обнаружения QRS – комплексов			
			Уровень разложения			
			1	2	3	4
Haar	-	2	0,30	0,11	0,14	0,30
Db	2	4	0,14	0,06	0,10	0,19
	3	6	0,18	0,13	0,15	0,20
	4	8	0,17	0,11	0,15	0,21
	5	10	0,30	0,17	0,20	0,30
Coif	1	6	0,18	0,11	0,16	0,22
Sym	2	4	0,19	0,11	0,15	0,22
	3	6	0,30	0,14	0,17	0,31
	4	8	0,20	0,11	0,18	0,27
	5	10	0,21	0,11	0,17	0,25

2. Выбор метода вейвлет-трешолдинга

Линейная вейвлет-оценка может обладать некоторыми незначительными выбросами, показывающими наличие в данных высокочастотных составляющих. Подобные составляющие могут быть устранены с использованием некоторой процедуры обработки коэффициентов детализации, содержащих информацию о высокочастотной части спектра данных. Процедура обнуления или пересчета коэффициентов детализации, значения которых являются меньшим по сравнению со значением порога, представляет собой процедуру пороговой обработки, или «трешолдинг» [1].

Существуют следующие виды трешолдинга:

1) жесткий трешолдинг, при котором все коэффициенты, превышающие некоторый порог, считаются принадлежащими к «оригинальному» сигналу, а остальные относят к шуму и обнуляют (2):

$$f(x) = \begin{cases} x, & |x| \geq t, \\ 0, & |x| < t \end{cases}, \quad (2)$$

где t – некоторый порог (коэффициент трешолдинга);

2) мягкий трешолдинг (3):

$$f(x) = \begin{cases} x - t, & x \geq t, \\ 0, & |x| < t, \\ x + t, & x \leq -t \end{cases}, \quad (3)$$

Качество шумоподавления сигнала и, следовательно, степень увеличения отношения сигнал/шум зависят не только от вида функции трешолдинга, но также от способа её применения. В зависимости от этого трешолдинг делится на глобальный и локальный, а локальный в свою очередь на общий и многоуровневый [2 – 4].

Для определения пороговых значений будем использовать следующие методы:

1. SQR-LOG метод (4) [5 – 7]:

$$t = \sqrt{2 \left(\frac{\text{median}(\{c(i)\}, i=1..n)}{0,6745} \right)^2 \ln(n)}, \quad (4)$$

где 0,6745 – оценка среднеквадратичного отклонения белого Гауссова шума; $c(i)$ – вейвлет-коэффициенты.

2. Метод Берга-Массара (5) [8]:

$$t = |c(z)|, \\ z = \arg \min \left[-\sum \{c^2(i), i < k\} + 2\sigma^2 k \left(a + \ln \left(\frac{n}{k} \right) \right) \right], \quad (5) \\ k = 1..n,$$

где σ^2 – дисперсия шума, a – параметр разреженности, $a \geq 1$

Параметр разреженности является ключевым в методе Берга-Массара, так как он определяет степень подавления имеющихся в сигнале шумов.

В данном алгоритме определяются три интервала изменений значения параметра a , которые задают величину «штрафа»:

- «высокий», при $2,5 \leq a \leq 10$;
- «средний», при $1,5 \leq a < 2,5$;
- «низкий», при $1 \leq a < 1,5$.

В данной работе авторами предлагается использовать вейвлет-трешолдинг не для «очистки» сигнала от шумовых компонент, а для обнаружения QRS-комплексов кардиосигнала.

Выберем оптимальный метод вейвлет-трешолдинга среди методов Берга-Массара и SQR-LOG метода. Относительные ошибки обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигнала на 2 уровне разложения с использованием базиса db-2 представлены в табл. 2. Для метода Берга-Массара использовалась «высокая» величина штрафа, т.е. $a > 5$.

Согласно полученным результатам, разработанный метод позволяет достигнуть высокой точности в обнаружении QRS-комплексов при локальном многоуровневом трешолдинге. Также и то, что метод Берга-Массара обладает большей точностью и лучшим быстродействием по сравнению с SQR-LOG методом: SQR-LOG метод при точности 95-96% уступает методу Берга-Массара при точности, близкой к 98-99%.

Таблица 2

Относительная ошибка обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигнала на 2 уровне разложения с использованием базиса db-2

Вид трешолдинга	Относительная ошибка обнаружения, %	
	SQR-LOG метод	Метод Берга-Массара
Глобальный	8,72	6,18
Локальный общий	5,86	3,41
Локальный многоуровневый	4,45	1,52

3. Процедура обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигналов состоит из следующих этапов:

1. Загрузить оцифрованный кардиосигнал.
2. Произвести вейвлет-разложение сигнала до 2 уровня с использованием базиса db-2.
3. Применить метод Берга-Массара ко второму уровню разложения с коэффициентом разреженности $a > 5$.

4. Определить точное временное местоположение найденных комплексов из сопоставления временных промежутков.

5. «Отсеять» лишние (ошибочно найденные) комплексы, используя следующие условия:

- продолжительность QRS-комплекса должна быть от 0,04 с (по нормативу ЭКГ);
- минимальное значение интервала RR должно быть 0,3 с (при 200 ударах в минуту).

Полученные таким образом комплексы будут соответствовать QRS- комплексам.

В процедуре мы используем локальный многоуровневый трешолдинг. Значит, для каждого отведения кардиосигнала процедуру обнаружения QRS-комплексов нужно выполнить отдельно, чтобы добиться максимального эффекта работы метода (максимальной точности обнаружения).

Рассмотрим работу метода. Загрузим кардиосигнал пациента: второе грудное отведение, длительностью 4096 отсчетов, учитывая, что скорость продвижения бумажной ленты при записи ЭКГ 1000 отсчетов/с (рис. 2).

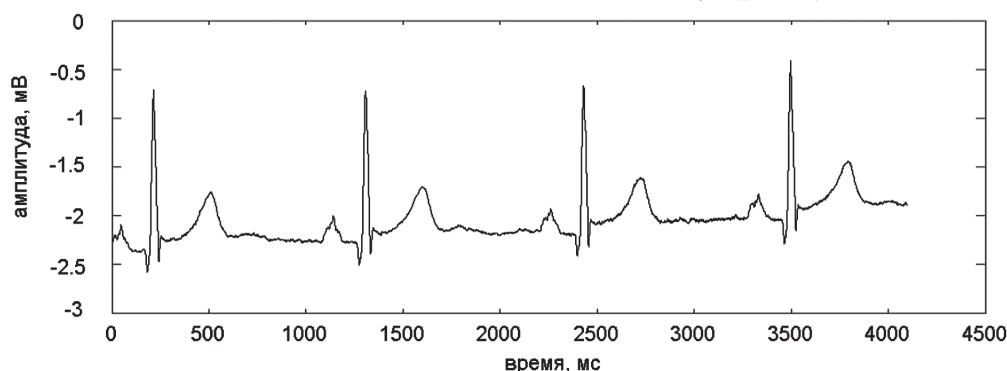


Рис. 2. Исходный кардиосигнал

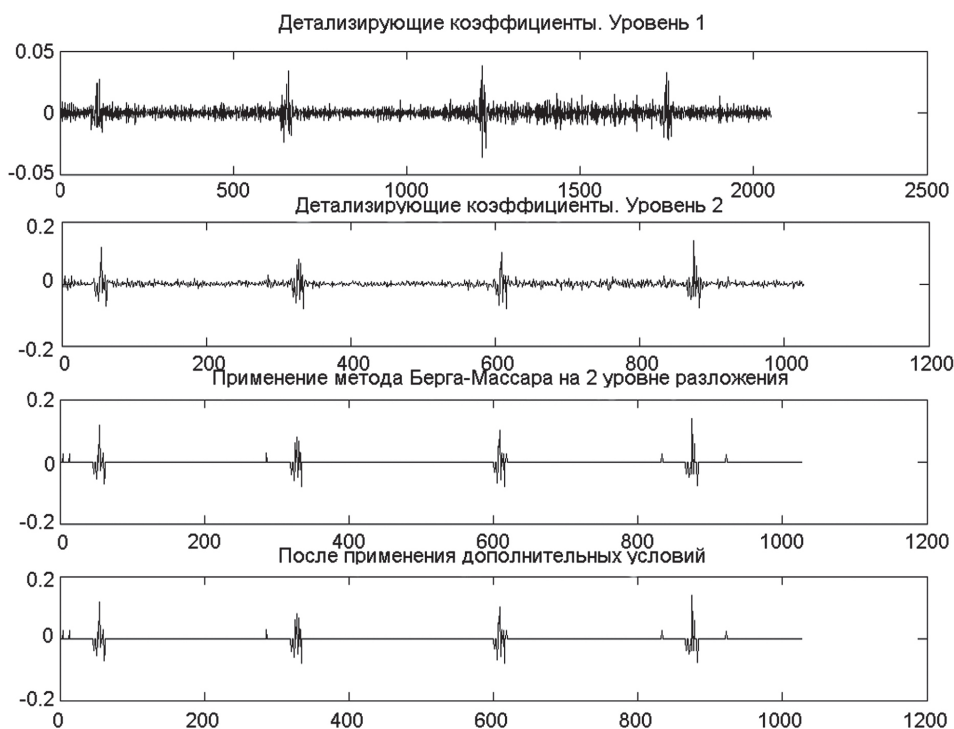


Рис. 3. Этапы работы метода

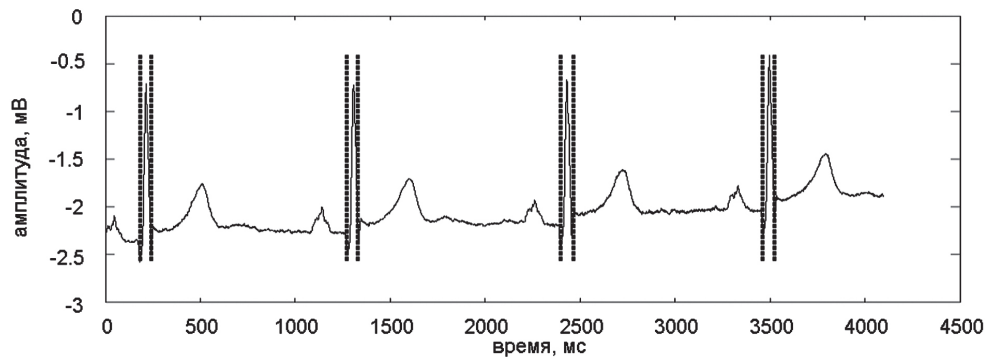


Рис. 4. Выделение QRS-комплексов

Произведем вейвлет-разложение сигнала до 2 уровня включительно с использованием базиса db-2. Применим процедуру пороговой обработки с помощью метода Берга-Массара, выбирая значения параметра разреженности больше пяти (в нашем случае было выбрано значение штрафного коэффициента, равное шести). Кроме необходимых QRS-комплексов мы получим «ошибочно найденные» комплексы; для их устранения применим дополнительные условия: продолжительность QRS-комплекса должна быть от 0,04 с и минимальное значение интервала RR должно быть 0,3 с (рис. 3). Определим точное временное местоположение найденных комплексов из сопоставления временных промежутков (рис. 4). По результатам работы программы точность обнаружения QRS-комплексов составила 98,21%, время работы разработанного метода – 0,3768 с.

Выводы

Разработан метод обнаружения QRS-комплексов ЭКГ-сигналов на основе вейвлет-преобразования. Впервые была применена процедура вейвлет-трешолдинга для выделения QRS-комплексов.

Обосновано:

1. Выбор типа вейвлет-носителя для применения в дискретном вейвлет-преобразовании (вейвлет №2 из семейства Добеши).
2. Уровень разложения сигнала (второй).
3. Тип вейвлет-трешолдинга (локальный многоуровневый).
4. Выбор метода вейвлет-трешолдинга (метод Берга-Массара).
5. Значение величины «штрафа» для метода Берга-Массара ($a > 5$).

Разработанный метод обеспечивает 98-99% точность в обнаружении QRS-комплексов ЭКГ-сигнала. Время работы метода составляет 0,3-0,4 с, поэтому данный подход может быть применен при длительном мониторинге.

Направлением дальнейших исследований является обнаружение других зубцов ЭКГ-сигнала и разработка системы анализа и диагностики кардиосигнала.

Список литературы: 1. Смоленцев, Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB [Текст] / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс. – 2008. – 448 с. 2. Chang S. G., Yu B. and Vetterli M. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression // IEEE Trans. Image Proc. – 2000. – V. 9. – P. 1532-1546. 3. Weaver J. B., Yansun X., Healy D. M. Jr. and Cromwell L.D. Filtering noise from images with wavelet transforms // Magnetic Resonance in Medicine. – 1991. – P. 288-295. 4. Алексеев, К.А. Теория и практика шумоподавления в задаче обработки сейсмоакустических сигналов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www/URL: http://matlab.exponenta.m/wavelet/book5/2_1.php](http://www.URL: http://matlab.exponenta.m/wavelet/book5/2_1.php). 5. Dohoto D.L. De-Noising by soft-thresholding // IEEE Transactions on Information Theory. – 1995. – V. 41. – P. 613-627. 6. Dohoto D.L., Johnstone I.M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage // Biometrika. – 1994. – V. 81. – P. 425-455. 7. Walden A.T., Percival D.B., McCoy E.J. Spectrum estimation by wavelet thresholding of multitaper estimators // IEEE Transactions on Signal Processing. – 1998. – V. 46. – P. 3153-3165. 8. Luisier F., Blu., Unser M. A new SURE approach to image denoising: Interscale Orthonormal wavelet thresholding // IEEE Transactions on Image Processing. – 2007. – V. 16. – P. 593-606.

Поступила в редколлегию 14.03.2011.

УДК 004.02

Метод виявлення QRS-комплексів ЕКГ-сигналів на основі вейвлет-трешолдинга / В.І. Дубровін, Ю.В. Твердохліб // Бюніка інтелекту: наук.-техн. журнал. – 2011. – № 1 (75). – С. 98–101.

Запропоновано метод виявлення QRS-комплексів ЕКГ-сигналів на основі вейвлет-перетворення із застосуванням вейвлет-трешолдинга. Обґрунтовано вибір типу вейвлет-носія для застосування в дискретному вейвлет-перетворенні, а також вибір методу вейвлет-трешолдинга, що забезпечує найбільшу точність у виявленні комплексів.

Табл. 2. Лл. 4. Бібліогр.: 8 найм.

UDC 004.02

A method of detection of QRS-complexes ECG-signals on the based of wavelet-thresholding / V.I. Dubrovin, J.V. Tverdohlib // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. – 2011. – № 1 (75). – P. 98–101.

A method of detection of QRS-complexes ECG-signals on the based of wavelet-transformation with the use of wavelet-thresholding is proposed. Choosing the type of a wavelet-base for the usage in discrete wavelet-transformation as well as wavelet-thresholding method giving the largest accuracy in detecting QRS-complexes is provided.

Tab. 2. Fig. 4. Ref.: 8 items



ВИЯВЛЕННЯ ПРОБЛЕМ ЗДІЙСНЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПОЛІГРАФІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА

І.О. Бондар

ХНЕУ, м. Харків, Україна, ArinaVRG@yandex.ru

У статті запропоновано інструментарій з виявлення проблем, що заважають здійсненню виробничої діяльності поліграфічного підприємства. Процес виявлення базується на аналізі комплексу причин-суджень виникнення проблем та реалізується за допомогою використання методів штучного інтелекту на базі правил формальної логіки, теорії ймовірності та методу обробки експертної інформації. В результаті аналізу комплексу причин-суджень здійснюється виявлення й визначення пріоритетності першопричин виникнення проблемних ситуацій у виробничій діяльності поліграфічного підприємства.

ПРОБЛЕМНА СИТУАЦІЯ, ПЕРШОПРИЧИНА, ФОРМАЛЬНА СИСТЕМА ОБРОБКИ СУДЖЕНЬ, ПРОПОЗИЦІЙНІ СИМВОЛИ, ПРОЦЕДУРА ПОБУДОВИ ФОРМУЛ, АКсіОМИ, ПРАВИЛА ВИВЕДЕННЯ, ЕКСПЕРТНЕ РАНЖУВАННЯ

Вступ

Інтенсивні зміни у бізнес-середовищі обумовлюють появу підвищених вимог до процесів функціонування й розвитку виробничих поліграфічних підприємств (ВПП). Практична реалізація даних вимог веде до необхідності їх врахування в процесі ведення виробничої діяльності. Це, в свою чергу, продукує періодичне (або постійне) виникнення проблемних ситуацій (ПС) в процесі здійснення виробництва поліграфічної продукції. Своєчасне виявлення ПС стабілізує діяльність підприємства та надає йому змогу функціонувати й розвиватися відповідно до поставленої мети.

Представлене у рамках статті дослідження пов'язане з реалізацією мети державної підтримки книговидавничої справи "оновлення і переоснащення видавничо-поліграфічної бази суб'єктів видавничої справи та створення сприятливих умов їх розвитку", сформульованої в Законі України "Про державну підтримку книговидавничої справи в Україні" №601-IV від 6.03.2003 [1].

Аналіз останніх досліджень, присвячених питанню дослідження поточного стану поліграфічних підприємств та виявленню проблем, що виникають в процесі ведення виробничої діяльності, стимулюючи їх розвиток, дав змогу з'ясувати, що автори [2 ÷ 5] торкалися або лише теоретичної сторони щодо необхідності вирішення наявних проблем (фінансових, технічних, технологічних тощо), опису їх впливу на діяльність підприємства, або пропонували можливі шляхи їх вирішення. Однак необхідно відмітити, що певне коло питань, пов'язаних із реалізацією процесу виявлення проблем, що виникають на ВПП, за допомогою застосування модельного інструментарію, не знайшло належного відображення в пропонованих авторами дослідженнях.

Таким чином, відкритим залишилося питання здійснення процесу виявлення й визначення пріоритетності першопричин виникнення проблем. Вирішення цього питання потребує подальшого пророблення в рамках модельної реалізації.

Метою статті є моделювання процесу виявлення першопричин виникнення проблем здійснення виробничої діяльності поліграфічних підприємств (на основі побудови й обробки формальної системи суджень) та визначення їх пріоритетності (на основі розрахунку коефіцієнтів відносної важливості).

Наукова новизна полягає у можливості здійснення процесу виявлення першопричин виникнення проблем виробничої діяльності поліграфічних підприємств на основі побудови і обробки формальної системи суджень.

Дослідження базується на використанні такого інструментарію, як метод штучного інтелекту на базі правил формальної логіки [6], теорії ймовірності [7] та метод одновимірного шкалювання [8].

1. Побудова формальної системи обробки суджень

Важко локалізувати джерело проблеми, якщо відсутнє уявлення про її суть. Як відомо, проблема — це усвідомлене, але поки не вирішене протиріччя, розбіжність між тим станом, що є на даний момент, і станом, що диктується обставинами, що змінилися [8, С. 227].

Базуючись на формулюванні ПС автора [9, С. 20], її пропонується розглядати як складову трьох елементів, які в рамках даного дослідження пропонується трактувати як: ВПП (діючий суб'єкт), ринок поліграфічних послуг (об'єкт його діяльності) та утруднення на шляху здійснення діяльності ВПП, які далі раціонально розглядати як проблеми, що стоять на шляху його розвитку.

До ПС можуть бути віднесені такі: зменшення доходів поліграфічного підприємства, збільшення кількості помилок на етапі оформлення замовлення, збільшення часу простою обладнання, наявність неузгодженості щодо вільних залишків матеріалів, високий ступінь плинності персоналу тощо.

Під виявленням причин виникнення ПС пропонується розуміти процес, спрямований на досягнення чіткого розуміння проблеми й визначення комплексу заходів, необхідних для її успішного

вирішення. Як комплекс заходів може бути розглянута сукупність першопричин по кожній із проблем. Комплексний аналіз ПС надає можливість виявлення дійсних проблем. А як відомо, загальні теоретичні трактування досить рідко знаходять практичне відображення в реальній виробничій діяльності, якщо вони не об'єднані в концептуальній складовій єдиної цілісної системи.

Змістовний аспект процесу виявлення причин виникнення ПС базується на таких положеннях:

1. Процес аналізу, що спрямований на виявлення проблем, має базуватися на формальній системі суджень конкретних представників ВПП, тобто його активних елементів;

2. Процес визначення першорядності вирішення проблем має вестись у відповідності до коефіцієнтів відносної важливості першопричин кожної з проблем;

3. Здійснення практичної реалізації має передбачати використання економіко-математичних методів для опрацювання якісної інформації (виходячи з необхідності обробки комплексу суджень).

В рамках даного дослідження пропонується підійти до виявлення причин виникнення ПС з позиції внутрішніх активних елементів діючого суб'єкта на базі аналізу суджень його конкретних представників, тому що саме їх необхідно розглядати як основу для визначення “кореня” проблеми, виявлення якого може запобігти розвитку ПС і визначити прийняття своєчасних рішень з її усунення.

Виявлення проблем здійснення виробничої діяльності поліграфічного підприємства пропонується робити у відповідності до наступної послідовності дій:

1) анкетування активних елементів ВПП, спрямоване на одержання множини причин-суджень (Pr_k) як відповідей на наступні запитання: “Які (в даний момент) необхідно передбачити комплексні зміни для ведення процесу функціонування і розвитку Вашого підприємства та усунення дестабілізуючого впливу як зовнішніх, так і внутрішніх факторів негативного впливу ПС?” та “Який фактор (першопричина) цьому буде сприяти?”;

2) обробка відповідей на поставлені запитання. Обробка здійснюється за допомогою методів штучного інтелекту на базі правил формальної логіки [6]. Обов'язковою умовою необхідною для початку процесу обробки судження є наявність в ньому предмета та стану судження. Судження, що не задовольняють цій умові, мають відтинатися відповідно до правил виведення пропонованої в дослідженні формальної системи обробки суджень наступного вигляду:

$$F = \langle A, W, G, V \rangle, \quad (1)$$

де A – кінцева множина пропозиційних символів (розглядаються, як значеннєві конструкції), виділених на основі обробки причин-суджень (Pr_k) і логічних операторів:

$$A = \langle a_i^1, a_j^2, a_h^3 \mid k \rangle, \quad (2)$$

де a_i^1 – множина пропозиційних символів (предметів суджень), при $i = \overline{1, n}$; a_j^2 – множина пропозиційних символів (станів предметів суджень), при $j = \overline{1, d}$; a_h^3 – множина пропозиційних символів (першопричин), при $h = \overline{1, e}$; k – логічні оператори: $\supset, \rightarrow, \mapsto, \neg, \exists, \vee, \wedge, \equiv$; W – процедура побудови формул:

$$W = \langle w_1, w_2, w_3, w_4 \rangle, \quad (3)$$

де w_1 – пропозиційні символи a_i^1 і a_j^2 є суттю формули; w_2 – W є формулою, якщо в ній містяться і a_i^1 і a_j^2 ; w_3 – пропозиційні символи a_h^3 є наслідком формули; w_4 – $\neg W$ і (W) є формулами, якщо W є формулою; G – кінцева множина аксіом, виведених відповідно до правил виведення:

$$G = \langle g_1, g_2 \rangle, \quad (4)$$

де g_1 – аксіома №1: $a_i^1 a_j^2$; g_2 – аксіома №2: $\neg (\exists a_h^3) \equiv \neg a_h^3$; V – кінцева множина правил виведення:

$$V = \langle v_1, v_2, v_3, v_4, v_5 \rangle, \quad (5)$$

де v_1 – $a_i^1 a_j^2 \rightarrow a_j^2 a_h^3$ (продукція); v_2 – $((\exists a_i^1) \wedge (\neg \exists a_j^2)) \vee ((\exists a_j^2) \wedge (\neg \exists a_i^1)) \mapsto$ (переписування); v_3 – $a_j^2 a_h^3 \mapsto a_h^3, \forall a_j^2$ (переписування); v_4 – $a_1^2, \dots, a_j^2 \mapsto a_j^2, \forall a_j^2 \in v_5, \forall j \in \overline{1, d}$ (переписування); v_5 – $((a_j^2 \supset a_{j+1}^2) \rightarrow a_{j+1}^2) \mapsto a_j^2, \forall (a_h^3 \equiv a_{h+1}^3)$ (переписування).

Після формування базового переліку першопричин розвитку ПС необхідно визначити їх відносну важливість (для встановлення пріоритетності усунення). По першопричинах з найбільшими пріоритетами мають бути негайно прийняті відповідні управлінські впливи, що спрямовані на усунення або мінімізацію їх негативного впливу на діючий суб'єкт. Дану процедуру рекомендується проводити на основі застосування методів обробки експертної інформації [8].

2. Розміщення пріоритетів в комплексі першопричин ПС

Обґрунтування вибору конкретного методу обробки експертної інформації базується на тому, що у процесі ранжування відсутня ситуація, коли треба одночасно враховувати декілька різних ознак, за якими ведеться оцінювання об'єкта та відсутня відстань між оцінками. Враховуючи викладене, вважається доцільним застосування методу обробки експертної інформації на основі групи методів шкалювання (на базі методу одномірного шкалювання).

Допущеннями експертного оцінювання є:

- 1) зворотній зв'язок відсутній;
- 2) експерти ізольовані один від одного;
- 3) оцінки мають бути несумісними;
- 4) присутня інформація про стан ринкового середовища (тобто, ринок поліграфічних послуг).

Практичне використання методу одномірного шкалювання з метою розміщення пріоритетів в комплексі першопричин виникнення ПС ведеться у відповідності до наступної послідовності кроків.

Крок 1. У якості вхідної інформації розглядається базовий перелік першопричин, що є результатом застосування формальної системи обробки суджень. На основі отриманої інформації експертною групою ведеться їх ранжування (по ступеню важливості), розраховується сума рангів та середній ранг по кожній з першопричин. Результуючі оцінки, що надаються експертами, групуються у відповідній таблиці (табл. 1).

Таблиця 1

Експертне ранжирування a_h^3 за важливістю

Експерт (u), при $u=1, \overline{N}$	Першопричини проблеми (a_h^3), при $h=1, \overline{e}$			
	a_1^3	a_2^3	...	a_e^3
1	$k_1(a_1^3)$	$k_1(a_2^3)$	...	$k_1(a_e^3)$
...	...	...	...	...
N	$k_N(a_1^3)$	$k_N(a_2^3)$	...	$k_N(a_e^3)$
Сума рангів	$\sum_{u=1}^N k_u(a_1^3)$	$\sum_{u=1}^N k_u(a_2^3)$	...	$\sum_{u=1}^N k_u(a_e^3)$
Серед- ній ранг	$\sum_{u=1}^N k_u(a_1^3) / N$	$\sum_{u=1}^N k_u(a_2^3) / N$	...	$\sum_{u=1}^N k_u(a_e^3) / N$

Крок 2. Здійснюється побудова матриці ймовірності ($\overline{b}_{hr}$) переваги h -ї першопричини над r -ю та обчислюються її елементи:

$$\overline{b}_{hr} = \begin{pmatrix} a_1^3 & a_2^3 & \dots & a_e^3 \\ a_1^3 & b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1e} \\ a_2^3 & b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2e} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_e^3 & b_{e1} & b_{e2} & \dots & b_{ee} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Крок 3. Скориставшись функцією Лапласа:

$$\overline{b}_{hr} = G(w_{hr}) = \int_{-\infty}^{w_{hr}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{t^2/2} dt, \quad (7)$$

перетворюючи її у форму, найбільш прийнятну для подальших розрахунків [7]:

$$G(w_{hr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{w_{hr}} e^{t^2/2} dt, \quad (8)$$

на базі наявних даних, з огляду на $G(-w_{hr}) = -G(w_{hr})$, знаходяться елементи матриці $G(w_{hr})$:

$$G(w_{hr}) = \begin{pmatrix} a_1^3 & a_2^3 & \dots & a_e^3 \\ a_1^3 & w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1e} \\ a_2^3 & w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2e} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_e^3 & w_{e1} & w_{e2} & \dots & w_{ee} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Крок 4. Розрахунок суми оцінок (C_z) та їх середніх значень (KC_z) ведеться у відповідності до формул (10) та (11):

$$C_z = \sum_{r=1}^e C_{hr}, \quad (10)$$

$$KC_z = C_z / E. \quad (11)$$

Крок 5. Значення функції $G(KC_z)$ обчислюється за допомогою формули (8), наведеної вище. Далі за формулою (12) здійснюється нормування розрахованих величин, після чого визначаються результуючі ранги кожної з першопричин (a_h^3):

$$\text{norm}(O_v) = G(KC_z) / \sum_{z=1}^E G(KC_z). \quad (12)$$

В результаті експертного оцінювання відбувається формування вектора відносної важливості першопричин ($\text{norm}(O_v)$), що служить визначальним фактором того, на що, в першу чергу, необхідно звернути увагу, щоб усунути існуючу проблему шляхом вирішення першопричин з максимальною відносною важливістю, а потім — з більш низьким її значенням.

Крок 6. Перевірка на несуперечливість отриманих значень ведеться у відповідності до формули (13):

$$Sr(\Delta_{hr}) = \sum_{\substack{r, h=1 \\ r < h}}^e |\Delta_{hr}| / (e * (e - 1)) / 2. \quad (13)$$

Шляхом аналізу та порівняння значень середнього відхилення ($Sr(\Delta_{hr})$) та найбільшої за абсолютною величиною розбіжності (Δ_{hr}) робиться висновок про несуперечливість зроблених експертами ранжировок (при цьому, $Sr(\Delta_{hr}) * e / 2$ має бути більшим, ніж значення Δ_{hr}).

Розглянемо застосування запропонованого в рамках статті інструментарію на умовному прикладі.

Виявлення причин здійснюється на базі анкетування внутрішніх активних елементів діючого суб'єкта, тобто ВПП. Отриманий фрагмент комплексу причин-суджень представлений в табл. 2.

Відповідно до правил виведення формальної системи (див. формулу (1)) судження, що не задовольняють формулам (2) ÷ (5), видаляються з розгляду. Наприклад, судження №4 не задовольняє пропонуваним правилам виведення (формула (5)), тому що немає предмета судження (правило (v_2)), а всякий випадок, коли у об'єкта судження немає предмета або стану, може бути вилучено з розгляду.

У відповідності до правил виведення (формула (5)) виходять ланцюжки наступного виду:

а) нова технологія → переходити → (виробничі потужності, фінансові кошти, кваліфікація);

б) виробнича документація → стандартизувати заповнення (організаційна підготовка, кваліфікація) і т.д.

При цьому, наприклад, ланцюжок а) — задовольняє продукційному правилу (v_1), тому що має і предмет судження (нова технологія (a_1^1)) і стан судження (переходити (a_1^2)). За правилом переписування (v_3) виділяємо ту частину судження, що необхідна для виявлення причин виникнення ПС, а саме — фактор-першопричину (виробничі потужності (a_1^3)), що задовольняє аксіомі (g_1).

Таблиця 2

Фрагмент комплексу причин-суджень

№	Причина-судження	Предмет судження	Стан судження	Фактор-першопричина
1	Потрібно переходити на нову технологію виробництва книжкової продукції	Нова технологія	Переходити	Виробничі потужності Фінансові кошти Кваліфікація
2	Стандарти-зувати заповнення виробничої документації	Виробнича документація	Стандартизувати заповнення	Організаційна структура Кваліфікація
3	Необхідно придбати нове обладнання для ділянки листового друку	Нове обладнання	Придбати	Фінансові кошти Виробничі потужності
4	Необхідно змінювати все	—	Змінювати	—
5	Узгодити процедуру розрахунку вартості замовлення	Замовлення	Узгодити	Організаційна структура Автоматизована підтримка Кваліфікація
6	Здійснювати планування виробництва з використанням діаграми Ганта	Виробництво	Здійснювати планування	Організаційна структура Виробничі потужності Кваліфікація
7	Удосконалити процедуру перенастроювання устаткування	Устаткування	Перенастроювання	Виробничі потужності Кваліфікація
8	Підвищити оперативність реєстрації фактичної витрати паперу, матеріалів	Витрати паперу, матеріалів	Підвищити оперативність	Організаційна структура Автоматизована підтримка Кваліфікація
9	Забезпечити зворотний зв'язок з відділом планування	Відділ планування	Забезпечити зворотний зв'язок	Організаційна структура Автоматизована підтримка Кваліфікація
...	...	...	...	...
32	Перевірити закріплення менеджерів за поліграфічними замовленнями	Менеджер	Перевірити	Організаційна структура Автоматизована підтримка Кваліфікація

Правило відділення (v_5) використовується, коли один стан предмета судження (наприклад, узгодити (a_2^3)) включає значення навантаження іншого стану (наприклад, забезпечити зворотний зв'язок (a_9^3)). При цьому, за правилом (v_4), може розглядатися послідовність, що складається з множини станів предмета судження, для яких справедливо, при еквівалентних по значенню навантаженню першопричинах (a_5^2), правило (v_3).

Група факторів-першопричин, отримана після обробки формальною системою, представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Перелік першопричин (a_h^3)

Найменування першопричини	Код
(застаріла) технологія виробництва	a_1^3
(нестача) виробничих потужностей	a_2^3
(нестача) фінансових коштів	a_3^3
(відсутність) автоматизованої підтримки	a_4^3
(застаріле) обладнання	a_5^3
(низька) кваліфікація персоналу	a_6^3
(незбалансованість здійснення виробничої, фінансової, технологічної та ін. процесів взаємодії в) організаційній структурі	a_7^3
(нестача) комплектуючих	a_8^3

Після здійснення ранжування першопричин у порядку їх важливості розраховується середній ранг кожної з них (табл. 4).

Таблиця 4

Експертне ранжирування першопричин (a_h^3)

Експерт (u), при $u=1, 10$	Першопричини проблеми (a_h^3), $h=\overline{1,8}$							
	a_1^3	a_2^3	a_3^3	a_4^3	a_5^3	a_6^3	a_7^3	a_8^3
1	7	4	5	1	6	2	3	8
2	4	6	8	5	1	2	3	7
...	...	...	...	...	...	...	...	...
10	6	4	5	3	1	7	8	2
Сума рангів	48	35	44	26	48	54	44	61
Середній ранг	4,8	3,5	4,4	2,6	4,8	5,4	4,4	6,1

Побудована матриця ймовірності ($\bar{b}_{hr}$) переваги h -ї першопричини над r -ю має наступний вигляд:

$$\bar{b}_{hr} = \begin{pmatrix} a_1^3 & a_2^3 & \dots & a_8^3 \\ a_1^3 & 0 & 0,3 & \dots & 0,7 \\ a_2^3 & 0,7 & 0 & \dots & 0,7 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_8^3 & 0,3 & 0,3 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Скориставшись формулою (8), було знайдено елементи матриці $G(w_{hr})$:

$$G(w_{hr}) = \begin{pmatrix} a_1^3 & a_2^3 & \dots & a_8^3 \\ a_1^3 & 0 & -0,52 & \dots & 0,52 \\ a_2^3 & 0,52 & 0 & \dots & 0,52 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_8^3 & -0,52 & -0,52 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Після розрахунку за формулами (10) та (11) суми оцінок (C_2) та їх середніх значень (KC_2), за формулою (8) було знайдено значення функції $G(KC_2)$.

В результаті подальшого застосування методу одномірного шкалювання був отриманий нормований показник відносної важливості першопричин та їх результуючий ранг (табл. 5).

Таблиця 5

Параметри пріоритетності першопричин ПС

$a_{h=1,8}^3$	C_z	$G(KC_z)$	$norm(O_v)$	Ранг, r
a_1^3	-0,52	0,4761	0,1189	5
a_2^3	2,65	0,6293	0,1572	2
a_3^3	0,2	0,5080	0,1269	4
a_4^3	2,82	0,6368	0,1591	1
...	...	...	...	...
a_8^3	-2,67	0,3707	0,0926	8

Здійснюючи перевірку на несуперечність, було порівняно вихідні й розрахункові ймовірності та розраховано середнє відхилення (за формулою (13)), при $e = 8$. Дані перевірки наведено у табл. 6.

Таблиця 6

Результати перевірки на несуперечливість

Оцінні різниці		$G(KC_z)$	$\overline{b_{hr}}$	Δ_{hr}
$a_1^3 - a_2^3$	-0,396	0,3483	0,3	0,0483
$a_1^3 - a_3^3$	-0,09	0,4641	0,3	0,1641
$a_1^3 - a_4^3$	-0,418	0,3409	0,4	-0,0591
...	...	...	...	...
$a_6^3 - a_8^3$	0,048	0,516	0,6	-0,0840
$a_7^3 - a_8^3$	0,535	0,7019	0,8	-0,0981

Результати перевірки на несуперечливість отриманих значень:

- 1) середнє відхилення ($Sr(\Delta hr)$) становить 0,0861;
- 2) найбільша за абсолютною величиною розбіжність (Δhr) дорівнює 0,2844.

На основі аналізу та порівняння отриманих значень ($Sr(\Delta hr)$) та (Δhr), а саме $(0,0861 \cdot 4 = 0,34426) > 0,2844$, робиться наступний висновок: отримані результати свідчать про несуперечність експертних ранжировок.

Таким чином, найбільш пріоритетними першопричинами, що підлягають вирішенню у першу чергу, є першопричини з найменшим результуючим рангом, а саме: відсутність автоматизованої підтримки (a_4^3) та нестача виробничих потужностей (a_2^3).

Висновки

Виявлення причин виникнення ПС пропонується робити з позиції внутрішніх активних елементів ВПП на базі аналізу комплексу причин-суджень його конкретних представників. Розстановка пріоритетів у комплексі першопричин дозволяє виявити ті, що підлягають негайному вирішенню.

Результати приведені у статті наукового дослідження, надалі, доцільно використовувати для діагностування стану ВПП.

Список літератури: 1. Закон України "Про державну підтримку книговидавничої справи в Україні" від 6.03.2003 №601-IV. — Режим доступу: — <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=601-15>. 2. Дурняк, Б. В. Видавничо-поліграфічна галузь України: стан, проблеми, тенденції: Статистично-графічний огляд [Текст]: Монографія / Б. В. Дурняк, А. М. Штангрет, О. В. Мельников. — Львів: УАД, 2006. — 274 с. 3. Швайка, Л. А. Розвиток і регулювання видавничого підприємництва [Текст]: Монографія / Л. А. Швайка. — Львів: УАД, 2005. — 432 с. 4. Гавенко, С. Ф. Логістика в поліграфічному виробництві [Текст]: Навчальний посібник / С. Ф. Гавенко, Б. В. Дурняк, Р. С. Зацерковна. — Львів: Українська академія друкарства, 2006. — 143 с. 5. Иванов, П. К. Системы управления современным полиграфическим предприятием [Текст] / П. К. Иванов, Ю. Н. Самарин. — М.: Raid Publishing, 2007. — 167 с. 6. Лорье, Ж. Л. Системы искусственного интеллекта [Текст]: Пер. с франц. / Ж. Л. Лорье. — М.: Мир, 1991. — 568 с. 7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст]: Учеб. для вузов. — 7-е изд. стер. / Е. С. Вентцель. — М.: Высш. шк., 2001. — 575 с. 8. Макаров, И. М. Теория выбора и принятие решений [Текст]: Учеб. пособ. / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов. — М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1982. — 328 с. 9. Фридман, Л. М. Основы проблемологии. Серия "Проблемология" [Текст] / Л. М. Фридман. — М.: СИНТЕГ, 2001. — 228 с.

Надійшла до редколегії 19.01.2011.

УДК 655.3

Выявление проблем осуществления производственной деятельности полиграфического предприятия / И. А. Бондар // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 102–106.

В статье предложен инструментальный по выявлению проблем, которые мешают осуществлению производственной деятельности полиграфического предприятия. Процесс выявления базируется на анализе комплекса причин-суждений возникновения проблем и реализуется с помощью использования методов искусственного интеллекта на основе правил формальной логики, теории вероятности и метода обработки экспертной информации. В результате анализа комплекса причин-суждений осуществляется выявление и определение приоритетности первопричин возникновения проблемных ситуаций в производственной деятельности полиграфического предприятия.

Табл. 6. Библиогр.: 9 назв.

UDK 655.3

Revealing of problems of realisation of industrial activity of the polygraphic enterprise / I. A. Bondar // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 102–106.

In article the toolkit on revealing of problems which stir to realisation of industrial activity of the polygraphic enterprise is offered. Process to revealing is based on the analysis of a complex of the reasons-judgements of occurrence of problems and is realised by means of use of methods of an artificial intellect on the basis of rules of formal logic, the theory of probability and a method of processing of the expert information. As a result of the analysis of a complex of the reasons-judgements revealing and definition of a priority of original causes of occurrence of problem situations in industrial activity of the polygraphic enterprise is carried out.

Tab. 6. Ref.: 9 items.

УДК 656:004.75



ВІЗУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ РЕСУРСІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

В.О. Алексієв¹¹ ХНАДУ, м. Харків, Україна, aleksiye@gmail.com

Розглянуто візуальне моделювання гетерогенних розподілених мереж транспортних систем як програмної основи інтелектуалізації інфраструктури транспортних організацій. Запропоновано застосування мови UML для візуального моделювання GRID-систем у транспортних додатках.

ВІЗУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, РОЗПОДІЛЕНІ МЕРЕЖІ, ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА

Вступ

Сучасна транспортна інфраструктура міст та регіонів є сукупністю інтелектуальних систем планування та моделювання транспортних мереж, керування дорожнім рухом та телематичними комплексами, які надають оперативну інформацію про стан дорожнього середовища та дозволяють синергетично взаємодіяти із всіма учасниками дорожнього руху. Інформація у транспортних системах існує у різному цифровому уявленні та графічному і мультимедійному вигляді. Цьому уявленню відповідає просторо-часове існування цифрового контенту. Інформаційна взаємодія користувачів відповідної ІТ інфраструктури транспортних організацій основана на електронному документообігу на рівні LAN або WAN. Розгляд властивостей цієї взаємодії потребує врахувань як сукупної продуктивності вузлів відповідної мережі, так і фінансових витрат на забезпечення відповідних енергоресурсів та сервісного обслуговування. Інформаційного простір транспортних організацій потребує оптимізації багатокритеріальної мережевої системи. Найбільш привабливою для такої оптимізації є концепція WEB 2.0, що є логічним продовженням розвитку колективного користування ресурсами Internet. Технології WEB 2.0 знімають потребу у програмуванні як для виконання задач обробки інформації відповідного електронного документообігу, так і при створенні своїх особистих WEB-ресурсів. Розглянемо невід'ємну частину використання такої технології – візуальне моделювання.

1. Аналіз досліджень та публікацій

Візуалізація, специфікування, конструювання й документування об'єктно-орієнтованих систем є призначенням мови UML. У дослідженнях Буч Г., Фаулер М., Ларман К. та інш. [1-3] запропоновано та доведено доцільність її застосування для створення комп'ютерних систем та мереж. У роботах росіян [4-7] показано, як за допомогою діаграм можна зробити візуальну модель системи з різних точок зору. Одна з діаграм, наприклад, може описувати взаємодію користувача із системою, інша – зміну станів системи в процесі її роботи,

третя – взаємодію між собою елементів системи і т.п. Складну систему можна представити у вигляді набору невеликих і майже незалежних моделей діаграм, причому жодна з них не є достатньою для опису системи й одержання повної уяви про неї, оскільки кожна з них опирається на певний аспект функціонування системи й виражає різний рівень абстракції.

Загальні проблеми інформатизації транспортної інфраструктури, її інформаційний розвиток на концептуальному рівні було ретельно розглянуто у дослідженнях [8-10]. У роботі [11] наведено відомості про застосування мови UML для візуального моделювання GRID – систем у транспортних додатках.

2. Постановка задачі

Уніфікована мова моделювання (Unified Modeling Language, UML) – це графічна мова для візуалізації, конструювання й документування систем, у яких головна роль належить програмному забезпеченню. Ця мова була розроблена для моделювання програм, що ґрунтуються на об'єктно-орієнтованому підході. За допомогою UML можна розробити детальний план системи, що розроблюється, та яка містить не тільки її концептуальні елементи, такі як системні функції й бізнес процеси, але й конкретні особливості, наприклад, класи, написані на будь-якій мові програмування, схеми баз даних і програмні компоненти, що можуть повторно використовуватися.

Застосування технології UML для моделювання складних об'єктів та систем, наприклад, GRID-інфраструктури транспортної організації, є рішенням, якому практично не має альтернатив. Так, UML надає спільне подання структури таких систем у вигляді як графа, структурованого рисунка, так і забезпечує об'єктно-орієнтоване сприйняття систем. Поряд з цим слід відмітити, що візуальне моделювання на відміну звичайного підходу до алгоритмізації та структуризації транспортних систем надає просторове сприйняття проблеми. Однак у задачах створення інформаційних ресурсів на транспорті візуальне моделювання ще не знайшло достатньо широкого застосування.

Тому поставимо задачу показати на прикладах визначення топології серверних компонентів розподілених систем та супроводження програмних додатків, що програмні рішення, які основані на візуальному моделюванні, є зручними, гнучкими в умовах застосування як у промислових системах, так і у транспортних додатках.

3. Розподілені системи

Моделювання часу й простору – важливий елемент будь-якої розподіленої системи, що працює у реальному часі. Для візуалізації, конструювання й документування таких систем UML пропонує різні засоби, включаючи оцінки часу, часові діаграми, обмеження та позначені значення. Проектування систем реального часу й розподілених систем – складне завдання. Модель таких систем повинна висвітлити всі необхідні й достатні просторово-часові властивості системи.

Розподілені системи за своєю природою складаються з компонентів, фізично розташованих по різних вузлах. Дуже часте місце розташування (location) компонентів фіксується в момент установки системи. Але зустрічаються й такі системи, у яких компоненти мігрують із одного вузла на інший, наприклад у разі модернізації устаткування локальної обчислювальної мережі або введення нового сегменту, що сприяє зміні топології іншого. Засобами UML вигляд системи, з погляду розміщення, моделюється за допомогою відповідних діаграм розміщення, що описують топологію процесорів і пристроїв, на яких функціонує система. Артефактами є модулі, що виконуються, бібліотеки, таблиці, які розміщуються в цих вузлах. Кожний екземпляр вузла володіє власними екземплярами тих або інших артефактів, а кожний екземпляр артефакту належить тільки одному екземпляру вузла (хоча різні екземпляри артефакту одного виду можуть перебувати на різних вузлах).

Що торкається комп'ютерних ресурсів транспортних організацій, їх розвиток передбачає принцип «конкуренції» або «виживання» найбільш ефективних зв'язків згідно з властивостями самоорганізації. Слід зазначити, що можлива поява нового об'єднання комп'ютерів та інший розподіл завдань між окремими комп'ютерами. Особливо це важливо для вирішення проблем комп'ютерного забезпечення розвитку транспортної інфраструктури міст та регіонів. Такому уявленню проблем розвитку комп'ютерних ресурсів у транспортних додатках відповідає його подальше візуальне моделювання.

При комплексному використанні мережі Internet виникає необхідність у рішенні проблеми захисту інформації та локальної мережі в цілому. Особливо суттєво це питання стає, коли організація має загальнодоступні (публічні) Internet-сер-

віси (web-сервери, ftp-сервери, поштові сервіси, та інші), які розміщені в загальній локальній мережі. Підхід до створення захищених систем полягає у поділі локальної мережі та публічних серверів на окремі частини. Зона, у якій будуть розміщені публічні сервіси, називається демілітаризованою зоною – DMZ (Demilitarized Zone). Суть такої зони полягає в тому, що вона не входить безпосередньо ні у внутрішню, ні у зовнішню мережу, а доступ до неї може здійснюватися тільки за заздалегідь заданими правилами мережевого екрана.

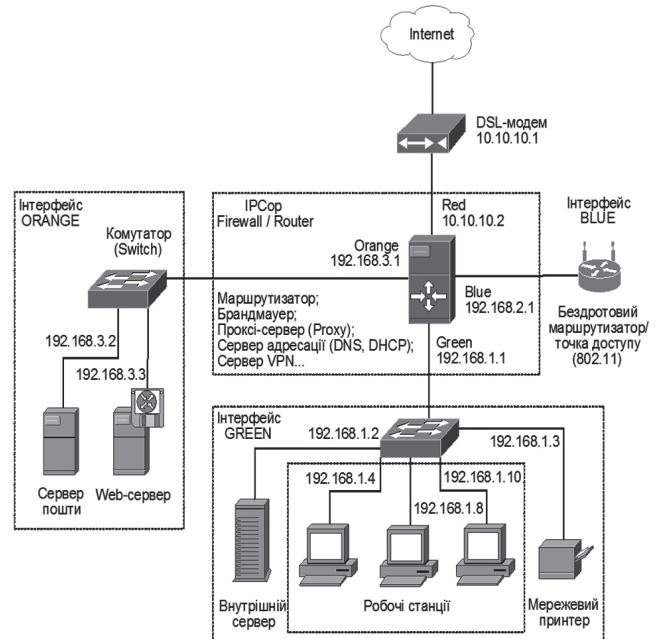


Рис. 1. Топологія мережі на базі рішення IPCop

Демілітаризована зона як правило служить для запобігання доступу із зовнішньої мережі до комп'ютерів внутрішньої мережі за рахунок виділення з локальної мережі в особливу зону всіх сервісів, що вимагають доступу із зовні. На серверах, розміщених в DMZ, не повинно бути ніякої інформації про користувачів та іншої конфіденційної інформації, не повинно бути особистих поштових скриньок співробітників – ці дані мають знаходитись у захищеній частині локальної мережі. (<http://hostinfo.ru/articles/487>).

Для роботи системи IPCop потрібно виділити x86-сумісний комп'ютер, бажано із об'ємом оперативної пам'яті порядку 512Мб. Наприклад, для проведення експерименту моделювання GRID-системи було обрано систему на базі Pentium-4 із 512Мб оперативної пам'яті та жорстким диском 80Гб.

При моделюванні топології розподіленої системи слід розглядати фізичне розташування як вузлів, так і артефактів. Якщо в центрі уваги перебуває керування конфігурацією системи, що розглядається, то моделювання розподілу вузлів є важливим для візуалізації, конструювання й документування

розміщення таких фізичних суттєвостей, як модулі, що виконуються (бібліотеки та таблиці). Якщо більш важлива функціональність, масштабованість і пропускна здатність системи, то важливішим стає моделювання розподілу об'єктів, що реєструються. Компоненти й класи можуть бути матеріалізовані у вигляді артефактів. Так, на рис. 2 зображено діаграму розміщення системи на базі IPCop, де присутні артефакти: "processor" – комп'ютери, що виконують завдання серверних систем або робочих станцій та "network" – мережеве устаткування.

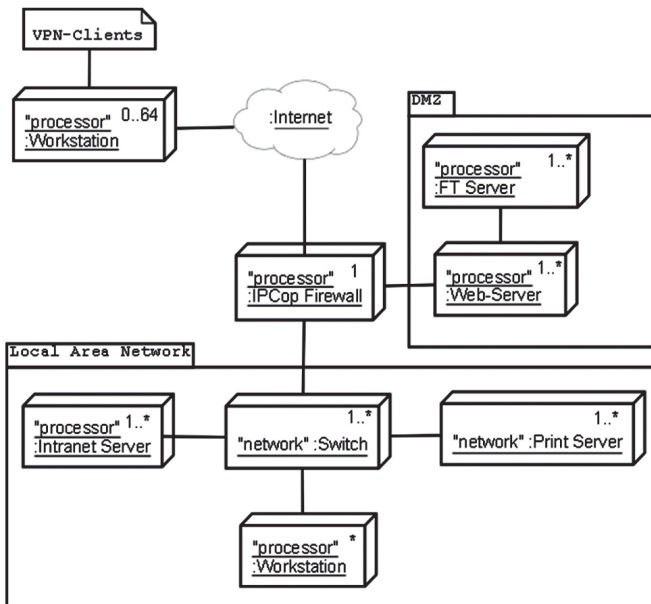


Рис. 2. Моделювання топології розподіленої системи

Моделювання розподілених систем засобами UML дозволяє ухвалити рішення щодо того, як розподілити об'єкти в системі. Питання розподілу об'єктів системи тісно пов'язані з питаннями паралелізму. Непродумане рішення та визначення напрямку потоків даних може стати причиною дуже низької продуктивності, але складна топологія може привести до нестабільності. Слід зазначити, що мова UML призначена головним чином для моделювання програмних систем, хоча в комбінації з мовами моделювання апаратних засобів HDL (hardware description language) може виявитися досить корисною і при моделюванні апаратних систем. Крім того, UML має достатню потужність для моделювання топології автономних (stand-alone), вбудованих (embedded), клієнт-серверних (client-server) і безпосередньо розподілених (distributed) систем.

Таким чином, на діаграмі розміщення наведені вузли системи. В мові UML вузол (node) – це фізичний елемент, що існує на час виконання і є обчислювальним ресурсом. Вузол зображується у вигляді куба. Для того щоб вказати скільки однотипних елементів існує в мережі на діаграмі, використовується множина (multiplicity). Вона

записується у вигляді виразу з мінімальним та максимальним значенням. Множина може визначена як одиниця (1), нуль чи один (0..1), багато (0..*), один чи декілька (1..*). Для того щоб підкреслити значення вузлу на схемі розподіленої системи, використовуємо компонент UML-екземпляр. Екземпляром (instance) зветься певне уособлення абстракції, до якого можна застосувати операції та котрому властиве певний стан, що зберігає результати цих операцій.

Візуалізація, конструювання та документування великих систем передбачає роботу з багатьма класами, інтерфейсами, вузлами, компонентами, діаграмами та іншими компонентами. У разі масштабування таких систем буде необхідно організувати ці сутності у великі блоки. В мові UML, для організації елементів моделі групи, використовують пакети. Графічно вони зображуються у вигляді папки. Пакет об'єднує семантично близькі елементи, що мають тенденцію сумісно змінюватися. Структурний зв'язок між класами визначає набір зв'язків, які утворюються між об'єктами – екземплярами класів. Також на цій діаграмі присутні сутності, що анотують. Графічно вони представлені прямокутником із загнутим кутом, в ньому розміщуються текстовий чи графічний коментар.

На рис. 3 зображено діаграму пакетів, що уособлює структурну сутність програмного маршрутизатора IPCop. На цій діаграмі розглянуто роботу маршрутизатора із трьома мережевими картами, що забезпечують зв'язок локальної обчислювальної мережі з Internet та виділення демілітаризованої зони. На цій діаграмі застосовано властивості атрибуту – доступність (visibility).

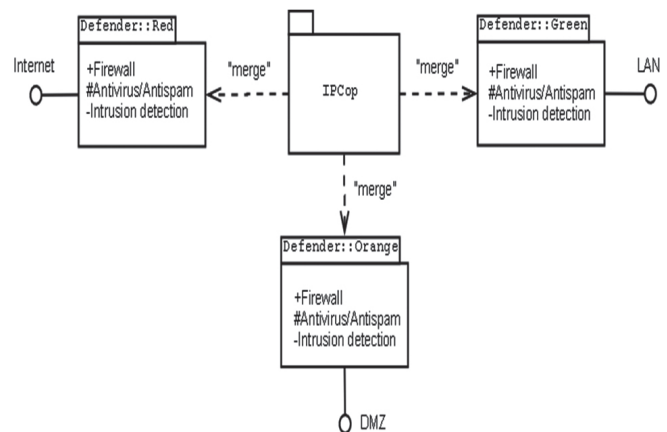


Рис. 3. Структурна схема маршрутизатора IPCop

4. Серверні компоненти

Засобами UML можна відокремлювати чотири рівня доступності: public (відкритий), protected (захисений), private (закритий), package (пакетний). Засоби явного зазначення доступності тих чи інших компонентів системи підвищують візуальне сприйняття в моделі, що розглядається. Для зв'язку

пакетів між собою на діаграмі використано залежність (dependency) – зв'язок між двома елементами моделі, в якій зміну одного елемента (незалежного) можна привести до зміни семантики другого елемента (залежного). Графічно такий зв'язок відбивається пунктирною лінією з напрямом. Також на діаграмі використовується графічний елемент інтерфейсу, що зображується у вигляді круга. На рис. 4 зображено структурну схему серверних компонентів, що складають систему IPSec. Ця схема зображена в термінах UML та дозволяє візуально спостерігати зв'язок між відповідними компонентами системи.

Система IPSec має модульну структуру і завдяки розширенням, що створюються спількою вільних розробників, може бути адаптована до рішен-

ня завдань будь-якої складності. Основою системи є пакетний фільтр (Firewall). Цей компонент захисту системи є стандартним рішенням для операційної системи Linux і базується на утиліті iptables. Завдяки цьому компоненту адміністратор системи може створювати та модифікувати правила, що управляють фільтрацією, перенаправленням (NAT – Network Address Translation) та модифікацією пакетів (<http://wikipedia.org>). Хоча технологія NAT є порівняно швидким рішенням для надання доступу до ресурсів Internet користувачам локальної обчислювальної мережі, та за умови використання IPSec, більш зручним рішенням буде застосування Proxy-серверу.

Процес адміністрування великих локальних обчислювальних мереж можна значно спро-

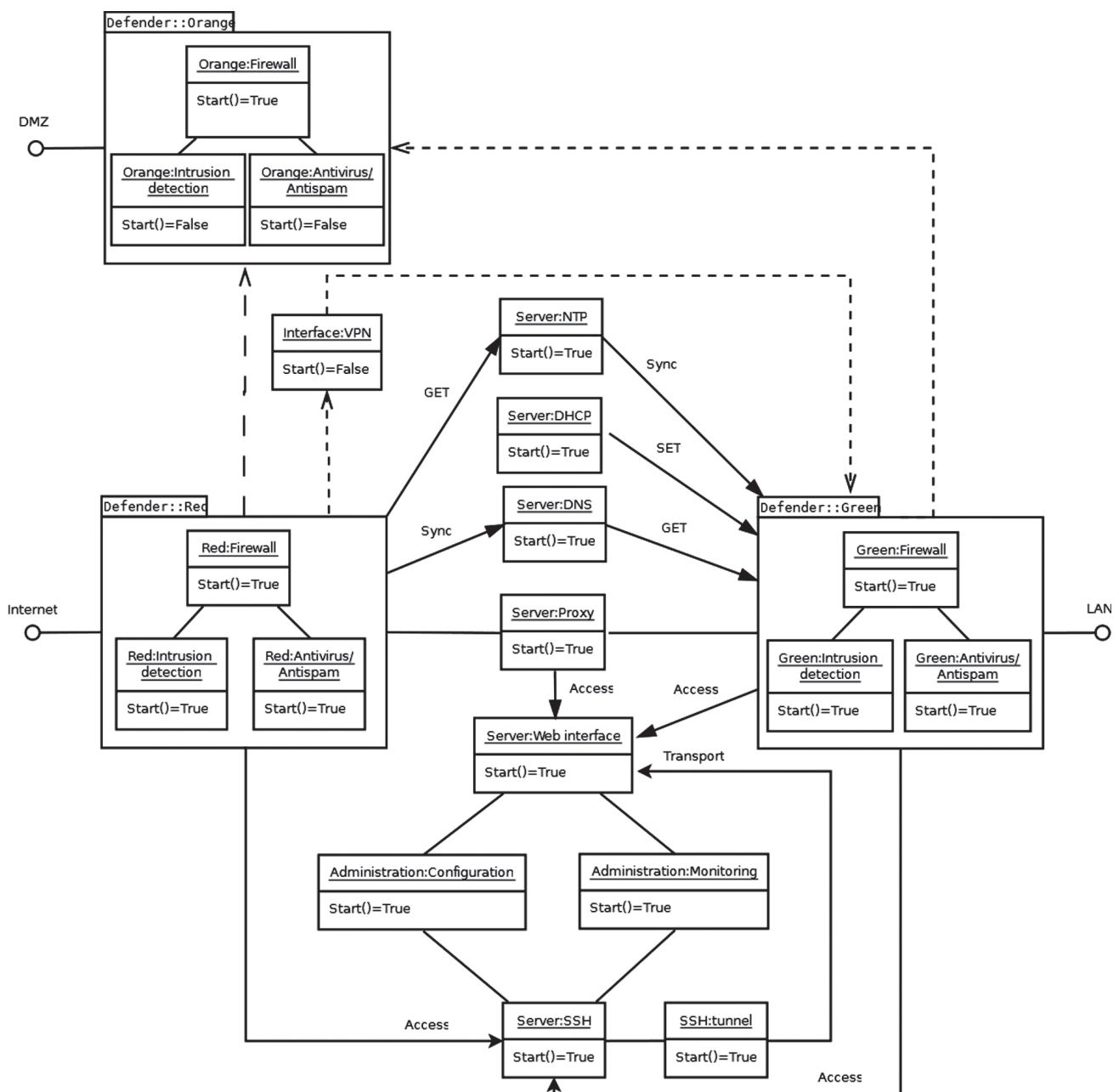


Рис. 4. UML-модель вузла

стити завдяки впровадженню технології DHCP. Цей протокол (англ. Dynamic Host Configuration Protocol — динамічна конфігурація вузла) дозволяє комп'ютерам автоматично одержувати IP-адресу та інші параметри, необхідні для роботи в мережі TCP/IP. Для цього комп'ютер звертається до спеціального серверу під назвою сервер DHCP. Адміністратор мережі може задати діапазон адрес, що розподіляються серед комп'ютерів. Це дозволяє уникнути ручного налаштування комп'ютерів мережі й зменшує кількість помилок. Протокол DHCP використовується в більшості великих мереж TCP/IP.

Відмінною рисою системи IPСор є адміністрування засобами web-інтерфейсу. Для цього одним із сервісів системи є web-server, доступ до якого можна отримати через внутрішній інтерфейс локальної мережі. Для адміністрування системи із зовні використовується протокол SSH. Secure Shell, SSH — мережевий протокол, що дозволяє проводити віддалене управління комп'ютером і передачу файлів. Схожий за функціональністю з протоколом Telnet, проте використовує алгоритми шифрування інформації, що передається.

При проектуванні GRID-системи основним є забезпечення групової роботи спільноти користувачів, які виступають у ролі віртуальної організації, тобто користувач такої системи незалежно від того, працює він у приміщенні організації чи знаходиться вдома, або в іншому місці з доступом до Internet, повинен отримати єдиний інтерфейс роботи у своєму віртуальному середовищі. Таку проблему з легкістю вирішує впровадження VPN-сервісу. VPN (віртуальна приватна мережа, англ. Virtual Private Network) — це логічна мережа, створена поверх інших мереж, на базі загальнодоступних каналів приватних віртуальних мереж, які дозволяють об'єднати віддалені офіси в єдину захищену корпоративну мережу з повним спектром телекомунікаційних послуг та з гарантованим якісним обслуговуванням. Безпека передавання пакетів через загальнодоступні мережі реалізується за допомогою шифрування, внаслідок чого створюється закритий для інших користувачів канал обміну інформацією.

Мова UML є зручним та багатофункціональним засобом графічного моделювання, але розробка діаграм без застосування комп'ютерних засобів не надасть проекту динаміки та гнучкості. Зараз на ринку домінують CASE-програмні засоби. Термін CASE (Computer-Aided Software Engineering) сьогодні розуміється досить широко. Раніше значення терміна обмежувалося питаннями автоматизації розробки програмного забезпечення, зараз воно набуло нового сенсу і охоплює процес розробки складних інформаційних систем у цілому. Тепер під терміном CASE-засіб розуміють-

ся програмні засоби, що підтримують процеси створення й супроводу таких систем, включаючи аналіз і формулювання вимог, проектування прикладних додатків та баз даних, генерування коду, тестування, документування, забезпечення якості, конфігураційне керування та керування проектом і т.п. CASE-засоби разом із системним програмним забезпеченням та технічними засобами утворюють повне середовище розробки (<http://www.citforum.ru/programming/case/gnatash/case/>).

Зараз існує багато програмних рішень CASE, що в свою чергу можуть підтримувати UML (http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_UML_tools). Прикладом зручного та багатофункціонального пакету для розробки блок-схем, діаграм, структур та інших графічних схем є програмний засіб Microsoft Visio. Однак безпосередньо функціональність цього рішення не дозволяє генерувати код програми, або навпаки — за вихідним кодом створювати UML-модель проекту.

Visio допомагає перетворити технічні й бізнес-концепції у візуальну форму. Цей пакет із родини Microsoft Office призначений винятково для малювання діаграм. Visio має деякі додаткові можливості, але він є тільки засобом для ілюстрування документів MS Office.

5. Супроводження програмних додатків

Сучасні засоби розробки програмного забезпечення, як правило, є об'єкт-орієнтованими. Тому засоби UML значно доповнюють та оптимізують процес розробки та супроводження програмних додатків. Наприклад, при впровадженні програмного маршрутизатору, на базі IPСор потрібно було вирішити задачу інвентаризації наявних комп'ютерних систем, що входять до локальної обчислювальної мережі. Для цього реєструвалася інформація про фізичні адреси мережевих карт цих комп'ютерів. Ця інформація стала у нагоді для надання прав доступу до ресурсів Internet для певних груп, робочих станцій у локальній мережі. Найпростішим засобом отримання цих даних є команда "ipconfig /all" у операційній системі Windows та команда "ifconfig" у Unix-подібних операційних систем. Однак отримані дані потрібно було записувати в один файл, що складався адміністратором підрозділу, а вже потім передавався адміністратору серверу доступу. Зараз найбільш продуктивним засобом розробки програмного забезпечення фірми Microsoft є продукт Visual Studio Team Edition. Ця система у поєднанні з функціями пакету Visio надає змоги виконання зворотнього проектування, тобто на основі вихідного коду програми отримати UML модель проекту.

Розробка діаграм є популярною не тільки для наукових задач, але й у бізнесі (<http://www.>

computerra.ru/gid/raznosoft/316808/). Незважаючи на Linux- основу, проект Dia випускається ще для Windows- платформи (рис. 5).

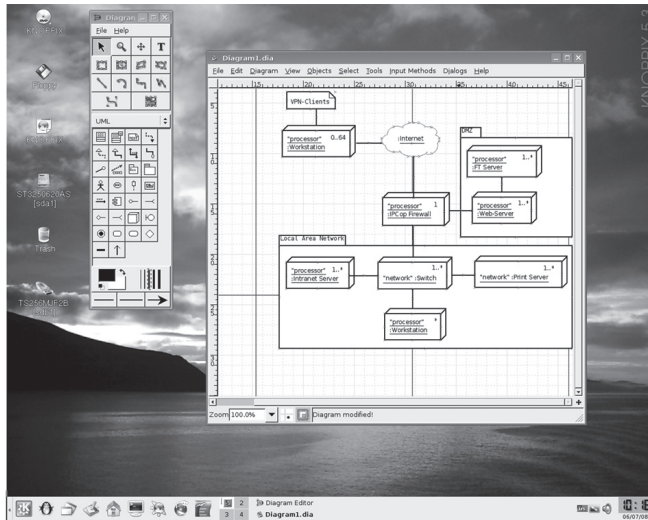


Рис. 5. Вікно проекту Dia у середовищі Linux KNOPPIX 5.3.1

Таким чином, для вирішення певних задач розробки UML-моделей можна обрати різні програмні засоби. Вони можуть бути як комерційними розробками, так і вільно поширюватися. Серед різноманітних засобів можна виділити комерційну систему Microsoft Visio та вільний кросплатформенний редактор Dia. На рис. 6 наведено відповідне формальне уявлення проходження завдань на рівні вузла обчислювальної мережі транспортного ситуаційного центру (ТСЦ).

Поряд з візуальним моделюванням необхідно постійно виконувати моніторинг поточного стану комп'ютерного ресурсу. Основним принципом об'єднання UML-моделі та засобів моніторингу є їх спільна програмна реалізація. Результат моніторингу обчислювальних процесів у відповідному вузлі відбиває фізичне уявлення його навантаження (рис. 7).

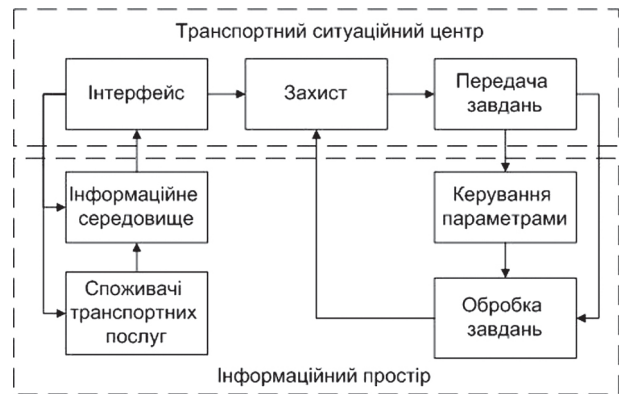


Рис. 6. Взаємодія споживачів

Висновки

Будь-які комп'ютерні ресурси організацій та підприємств, що мають стабільні тенденції до розвитку, мають і тенденції розвитку комп'ютерних ресурсів. ТСЦ координує використання цих гетерогенних розподілених ресурсів на основі застосування GRID-технології. Така технологія надає можливості застосування різноманітних ресурсів: обчислювальних, накопичення даних та комунікаційних. Звичайно таке об'єднання координується GRID-системою, а відповідна віртуальна мережа дозволяє технічно об'єднати розрізнені внутрішні GRID та кластери у єдиний інформаційний простір, яка координується вже єдиною GRID-системою, що надається користувачу як єдина віртуальна. Особливість використання для формування єдиного інформаційного простору з використанням GRID- технологій полягає не тільки у технічній організації розподілених обчислень гетерогенного середовища, але й у створенні певної соціальної структури, до якої залучаються користувачі системи. Такий принцип взаємодії комп'ютерних ресурсів та користувачів створює своєрідний механізм інтелектуалізації GRID- технологій. Засоби для створення віртуальних організацій користувачів надають технології WEB 2.0 поруч із системами

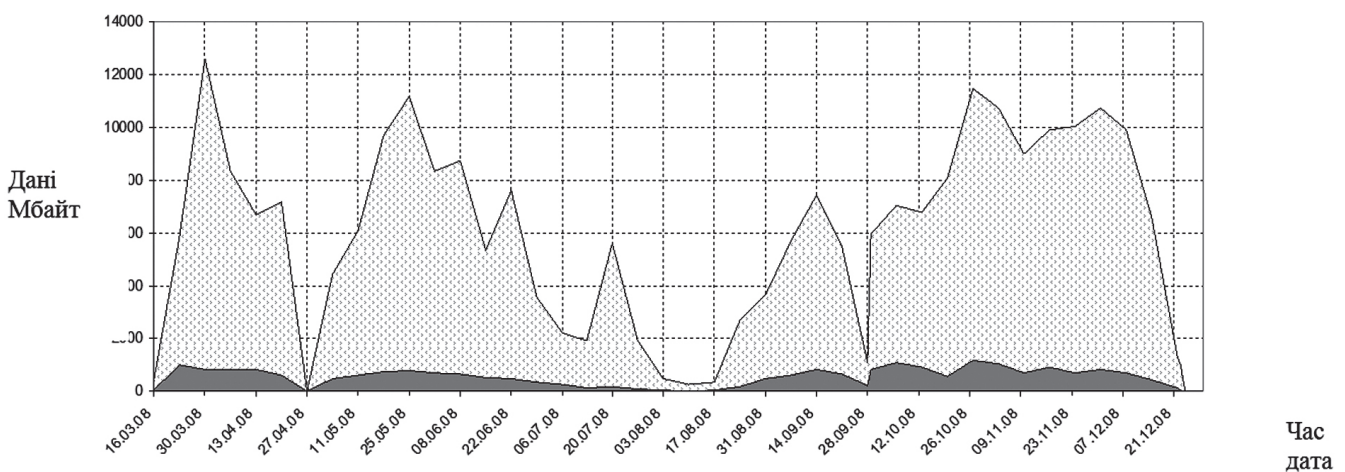


Рис. 7. Завантаження вузла протягом року: ■ – вихідна інформація, □ – вхідна

віртуалізації мережевої інфраструктури фізичної організації чи підприємства, наприклад, транспортного профілю.

Впровадження GRID-технологій надає не просто інформаційну систему, а своєрідний інтелектуальний регулятор, що поєднує переваги систем програмного керування із адаптивними системами, що працюють на основі синтезу керуючого впливу. Вона буде складовою частиною інтелектуальної технології управління рухом наземного транспорту великих міст та регіонів. З одного боку така система буде входити до простору WAN транспортної корпорації, а з іншого — в неї занурено LAN мережу різних транспортних організацій, що входять до відповідної корпорації (об'єднання).

Список літератури: 1. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя. — 2-е изд. [Текст] / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон; Пер. с англ. Мухин Н. — М.: ДМК Пресс, 2007. — 496 с. 2. Фаулер, М. UML. Основы / М. Фаулер, К. Скотт: Пер. с англ. — СПб: Символ-Плюс, 2002. — 192 с. 3. Ларман, Крэг. Применение UML и шаблонов проектирования. — 2-е издание [Текст] / Крэг Ларман: Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. — 624 с. 4. Визуальное моделирование: теория и практика [Электронный ресурс] / Д.В. Кознов // Интернет-университет информационных технологий. — 2007. — 248 с. — Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/se/vismodtp/>. 5. Бабич, А.В. Введение в UML [Электронный ресурс] / А.В. Бабич // Интернет-университет информационных технологий. — 2008. — 176 с. — Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/se/intuml/>. 6. Леоненков, А.В. Нотация и семантика языка UML [Электронный ресурс] / А.В. Леоненков // Интернет-университет информационных технологий. — 2005. — 320 с. — Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/pl/umlbasics/>. 7. Тихонов, К. Карманное зазеркалье: мобильная дополненная реальность [Электронный ресурс] / К. Тихонов // Компьютерра. — 2008. — № 34. — Режим доступа: [http://www.sheep.ru/blog/txt/mobile-augmented-](http://www.sheep.ru/blog/txt/mobile-augmented-reality)

[realit](http://www.sheep.ru/blog/txt/mobile-augmented-reality). 8. Алексієв, О.П. Інформатизація транспортних систем [Текст] / О.П. Алексієв, В.О. Алексієв, В.О. Хабаров, Г.Г. Четвериков // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — № 3 (74). — С. 52–57. 9. Богомолов, В.О. Проблема створення єдиного інформаційного простору транспортних організацій [Текст] / В.О. Богомолов, В.О. Алексієв // Автомобільний транспорт: Сб. науч. трудов. — 2009. — Вып. 25. — С. 222–225. 10. Богомолов, В.О. Концептуальне обґрунтування та синергетичний підхід до розвитку транспортних систем [Текст] / В.О. Богомолов, В.О. Алексієв // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Науково-технічний журнал. — 2009. — № 5 (78). — С. 59–63. 11. Алексієв, В.О. Застосування GRID — технології у транспортному ВНЗ: Навч.-методичний посібник [Текст] / В.О. Алексієв. — Харків: ХНАДУ, 2008. — 208 с.

Надійшла до редколегії 01.02.2011.

УДК 656:004.75

Визуальное моделирование информационных ресурсов транспортной инфраструктуры / В.О. Алексеев // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2011 — № 1 (75). — С. 107–113.

Рассмотрено визуальное моделирование гетерогенных распределённых сетей транспортных систем как программной основы интеллектуализации инфраструктуры транспортных организаций. Предложено применение языка UML для визуального моделирования GRID-систем в транспортных приложениях.

Ил. 7. Библиогр.: 11 назв.

UDC 656:004.75

Visual modeling of information resources of the transport infrastructure / V.O. Alekseyev // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 107–113.

We consider the visual modeling of heterogeneous distributed networks of transport systems as a policy framework intellectualization of transport infrastructure organizations. Proposed use of UML for visual modeling GRID-systems in transport applications.

Fig. 7. Ref.: 11 items.

УДК 519.683:656.11:681.3



РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ ПІДСИСТЕМИ ДВИГУНА І ТРАНСМІСІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ НЕЙРОДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

О.Я. Ніконов¹, Н.В. Шатохіна², В.Ю. Улько³

¹ХНАДУ, м. Харків, Україна, nikonov@khadi.kharkov.ua

²НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна, shatosha@mail.ru

³ХНАДУ, м. Харків, Україна

Розглянута задача побудови ефективних інформаційно-керуючих систем наземних транспортних засобів спеціального призначення. Запропоновано концепцію інтелектуального транспортного засобу спеціального призначення на основі штучних нейромережових регуляторів. На прикладі транспортного двигуна ЗТД розроблена відповідна інформаційно-керуюча підсистема на основі динамічних нейронних мереж. Приведено результати досліджень для різних методів навчання нейронної мережі.

НЕЙРОДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧА СИСТЕМА, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ДВИГУН, ТРАНСМІСІЯ, МЕХАТРОНІКА

Вступ

Транспортні засоби (ТЗ) спеціального призначення мають широкий спектр можливостей, який у повному обсязі недоступний звичайним автомобілям та тракторам. ТЗ спеціального призначення працюють в складних умовах експлуатації, інтенсивних навантажень, підвищеної відповідальності механізмів і поєднують в собі швидкохідність, маневреність, високу прохідність та вантажопідйомність. Розвиток та удосконалення ТЗ спеціального призначення характеризуються безперервним покращенням існуючих і створенням нових бортових інформаційно-керуючих систем (ІКС), що забезпечують підвищення ефективності цих машин.

В Україні зосереджена значна частина промисловості колишнього СРСР, а також знаходяться НДІ і КБ з машинобудування, в яких були створені різноманітні ТЗ спеціального призначення. Більшість цих машин, оснащених двигунами розробки Харківського конструкторського бюро з двигунобудування, підтверджують той факт, що Україна залишається одним із світових лідерів в галузі будівництва ТЗ спеціального призначення.

Однак численні демонстрації вітчизняних ТЗ спеціального призначення на міжнародних виставках і салонах довели не лише позитивні властивості цих машин. Оцінюючи вітчизняні ТЗ спеціального призначення, закордонні спеціалісти звертають увагу на слабку бортову інформаційно-керуючу систему (ІКС) таких машин, або на її відсутність взагалі, підвищену димність відпрацьованих газів в екстремальних умовах, а саме, на початку руху і при швидкому зростанні навантаження на колінчастому валу, недосконалу систему автоматичного керування гальмами і т.д. Ці факти пояснюються використанням ІКС з лінійними законами керування на основі традиційних ПІД-регуляторів та виконавчих пристроїв, що не відповідають сучасним вимогам.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Двигуни внутрішнього згоряння з системами автоматичного керування мають низку особливостей, що відрізняють їх від енергетичних установок інших типів. До таких особливостей треба віднести циклічність роботи двигуна з одночасним протіканням складного комплексу механічних, гідравлічних, газодинамічних і термодинамічних явищ, пов'язаних з наповненням, згорянням і перетворенням зворотно-поступального руху поршня в обертання колінчастого валу та ін. Все це вимагало від автоматичних регуляторів двигунів таких властивостей, які могли бути отримані лише за умови одночасного проведення ретельних наукових досліджень у галузі автоматичного керування двигунів внутрішнього згоряння.

Сучасні регулятори двигунів – це електронні та мікропроцесорні всережимні регулятори паливоподавання (ВРП). В транспортних засобах за керуванням паливоподавання двигуна відповідає або центральний мікропроцесор інтегрованої системи керування, або окремий контролер. До переваг таких ВРП у порівнянні з регуляторами інших типів (механічних, гідравлічних, пневматичних) відносяться малі габарити і металоємкість, а головне – значно більша можливість введення у регулятор додаткових корегуючих зв'язків і реалізація складних алгоритмів керування, що підвищують статичні та динамічні властивості ВРП, а також забезпечення дистанційного керування режимами роботи двигуна.

Результати останніх досліджень і публікацій свідчать про необхідність здійснення комплексної модернізації ІКС ТЗ спеціального призначення і побудови інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем (ІКТС), що дозволить якісно підвищити їх точність, функціональну і структурну надійність, якість перехідних процесів при відпрацюванні керуючих сигналів при внутрішніх та зовнішніх збуреннях, а також знизити навантаження на екіпаж і витрати енергоресурсів [1–5].

2. Постановка задачі

Світовий досвід розробки цифрових радіотехнічних систем керування, результати досліджень алгоритмів ІКС серійних ТЗ на імітаційних моделях, аналіз алгоритмів роботи серійних промислових цифрових регуляторів, що випускаються фірмами Cybosoft Inc., SattControl AB, Foxboro та інших, показує, що на даний час не існує універсального алгоритму керування об'єктами, для яких характерні неповнота інформації про об'єкт керування при роботі його в різноманітних режимах та широкий діапазон зміни характеристик збурень [6–8]. В зв'язку з тим, що більшість систем ТЗ спеціального призначення є саме такими об'єктами, при проектуванні ІКС необхідно забезпечити можливість комбінації алгоритмів керування в процесі роботи. Цього можна досягнути за рахунок чіткої структуризації алгоритмів ІКС. Структура програм ІКС-систем повинна включати такі підсистеми [9, 10]:

- реєстрації станів об'єктів керування і ІКС;
- прийняття рішень, що забезпечує зміну типу і структури регуляторів, а також їх параметрів на основі інформації про режими роботи виконавчих пристроїв і збурення;
- алгоритмів керування, що включає: алгоритм із змінною структурою на основі традиційних ПІД-регуляторів; базовий алгоритм на основі нейронних структур; алгоритм самонастроювання на основі інформації про граничний коефіцієнт підсилення при замкненому контурі керування; блок адаптації на базі еталонної моделі чи стохастичної апроксимації; блок компенсації на основі інформації про збурення;
- вводу/виводу інформації.

3. Розробка ІКС двигуна і трансмісії

Шляхи вирішення поставленої задачі ведуть до розроблення методів і алгоритмів синтезу ІКТС з використанням розвиненої математичної моделі об'єкту керування з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелектуальних систем керування, новітніх інформаційних технологій, а також стохастичних характеристик зовнішніх збурень, що діють на об'єкт. Інтелектуалізації таких систем можна досягнути насамперед на основі багатошарових штучних нейронних мереж (ШНМ) і методів еволюційного моделювання, зокрема генетичних алгоритмів (ГА), а також нечіткої логіки і гібридних нейро-фаззі архітектур.

Поставлена задача може бути вирішена за допомогою високопродуктивних цифрових обчислювачів, наприклад ADSP, SMART, або обчислювачів на базі PLC.

Використання цифрових методів обчислення дозволяє застосовувати сучасні алгоритми для ІКС, здійснювати зміну структури і параметрів алгорит-

мів, забезпечувати високу адекватність алгоритму розрахунку його практичній реалізації.

Об'єднання синергетичного підходу і алгоритмів навчання багатошарових ШНМ дозволяє реалізувати синтез алгоритмів, що самонавчаються, для ІКС ТЗ спеціального призначення шляхом об'єктивного формування архітектури багатошарових ШНМ на основі функціонала навчання і відповідних цілей керування.

Математична модель збуреного руху замкнутої системи паливоподавання дизеля ЗТД (БТД) наведена в роботі [11] і має такий вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta\omega_1(t)}{dt} &= -\frac{F_{до}}{I_{\Sigma}}\Delta\omega_1(t) + \frac{1}{I_{\Sigma}}\Delta M_{1д}(t) - \frac{1}{I_{\Sigma}}\Delta M_{1с}(t); \\ \frac{d^2\Delta M_{1д}(t)}{dt^2} &= -\frac{2}{T_T}\frac{d\Delta M_{1д}(t)}{dt} - \frac{1}{T_T^2}\Delta M_{1д}(t) + \\ &\quad + \frac{1}{T_T^2}\left(\frac{\partial M_{1д}}{\partial h}\right)_0\Delta h(t); \\ \frac{d^2\Delta x(t)}{dt^2} &= -\frac{\zeta}{m}\frac{d\Delta x(t)}{dt} - \frac{c}{m}\Delta x(t) + \frac{1}{m}\left(\frac{\partial W}{\partial \Delta x}\right)_0\Delta x(t) + \\ &\quad + \frac{1}{m}\left(\frac{\partial W}{\partial \omega_1}\right)_0\Delta\omega_1(t); \\ \frac{d\Delta z(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_S}\Delta z(t) + \frac{1}{T_S}\Delta x(t); \\ \frac{d\Delta h(t)}{dt} &= -\frac{1}{T_h}\Delta h(t) + \frac{k_z}{T_h}\Delta z(t), \end{aligned}$$

де $\omega_1(t)$ – кутова швидкість колінчастого вала; $M_{1д}(t)$ – активний момент, що розвиває дизель; $M_{1с}(t)$ – момент опору на колінчастому валу; $h(t)$ – переміщення рейки паливного насоса; $x(t)$ – положення муфти відцентрового чутливого елемента; $z(t)$ – положення поршня сервомотора; W – підтримуюча сила, що діє на муфту з боку обертових вантажів; I_{Σ} – приведений до колінчастого вала момент інерції пов'язаних з валом агрегатів; T_T – час затримки, пов'язаний з вприскуванням палива в циліндри і його згоряння; T_S , T_h – постійні часу проміжних каскадів посилення; m – маса обертових вантажів відцентрового чутливого елемента; c – коефіцієнт жорсткості пружини відцентрового чутливого елемента; ζ – коефіцієнт демпфірування; k_z – коефіцієнт передачі важільної системи регулятора.

Нелінійність математичної моделі збуреного руху дизеля обумовлена такими факторами:

– нелінійною моментною характеристикою $M_{1д}(t)$, яка відтворює залежність активного моменту, що розвивається дизелем, від кутової швидкості обертання колінчастого вала $\omega(t)$ і положення РНП $h(t)$;

– часом запізнення τ між моментом вприскування палива в циліндри дизеля і реалізацією відповідного активного моменту.

Експериментальні дослідження системи паливоподавання транспортного дизеля і трансмісії здійснювалося на комплексному дослідницькому стенді, який відтворює реальні навантаження, що діють на ведучі колеса транспортного засобу.

Структурна схема комплексного дослідницького стенду приведена на рис. 1.

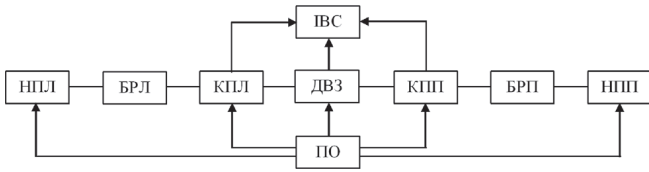


Рис. 1. Структурна схема комплексного дослідницького стенду: ДВЗ — двигун внутрішнього згоряння; КПП, КППЛ — коробки передач правого і лівого бортів; БРП, БРЛ — бортові редуктори правого і лівого бортів; НПП, НПЛ — навантажувальні пристрої правого і лівого бортів; ПО — пульт оператора; ІВС — інформаційно-вимірювальна система

Стенд призначений для випробування транспортних МТВ з потужністю ДВЗ до 1200 кВт і кутовою швидкістю обертання вихідних валів бортових редукторів до 70 с^{-1} . Навантажувальні пристрої НПП і НПЛ забезпечують навантаження моторно-трансмісійне відділення (МТВ) та імітацію динамічного еквіваленту інерційної маси. Максимальне значення навантажень на вихідних валах бортових редукторів БРП і БРЛ може складати 160000 Н·м.

Навантажувальні пристрої можуть бути виконані за двома схемами. Перша схема (рис. 2) містить два мультиплікатори з передатними числами $i_1=0,318$ та $i_2=0,166$. Друга схема містить лише один мультиплікатор з передатним числом $i_2=0,166$. Перша схема застосовується при дослідженнях МТВ у всьому діапазоні можливих навантажень, а друга схема — для дослідження МТВ у обмеженому діапазоні навантажень.

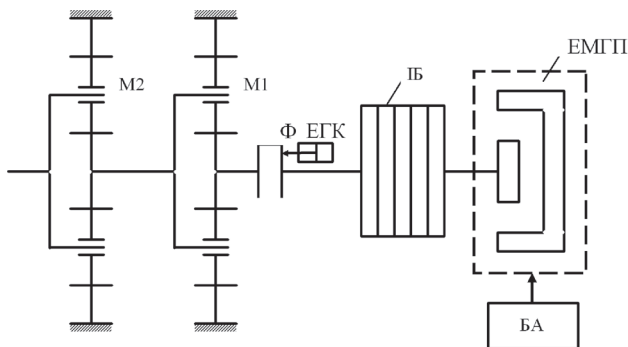


Рис. 2. Схема навантажувального пристрою: М1, М2 — мультиплікатори з передатними числами $i_1=0,318$ та $i_2=0,166$; Ф — фрикціон; ІБ — інерційний барабан; ЕМГП — електромагнітний гальмівний пристрій; БА — блок автоматики; ЕГК — електрогідравлічний клапан

Мультиплікатори М1 і М2 представляють собою однорідні планетарні редуктори і введені для

сполучення по частоті обертання вихідних валів бортових передач і електромагнітних гальмів.

Фрикціон Ф навантажувального пристрою є дисковим та нормально розімкненим. Його призначення полягає в охороні механізмів від руйнування шляхом швидкого відключення інерційного барабану ІБ. Фрикціон Ф керується електрогідравлічним клапаном ЕГК з пульта оператора.

Інерційний барабан ІБ забезпечує імітацію динамічного еквіваленту інерційної маси транспортного засобу. Момент інерції барабану регулюється у межах $5 \div 120 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ з інтервалом $5 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$ — барабан набирається з окремих дисків. Необхідний момент інерції забезпечується відповідним набором дисків на валу. Кутова швидкість обертання інерційного барабану не перевищує 400 с^{-1} і дорівнює кутовій швидкості ротора електромагнітного гальмового пристрою.

Інформаційно-вимірювальна система стенда містить блок датчиків, пристрій зв'язку з об'єктом і обчислюваний комплекс. Пристрій зв'язку з об'єктом являє собою ряд апаратних модулів, за допомогою яких інформація з дискретних, аналогових і числоімппульсних датчиків, розміщених на об'єкті, що досліджується, і фіксуючих значення потрібних параметрів, перетворюється в коди, що доступні для прийому ЕОМ. Результати вимірювання реєструються ІВС, яка здійснює збір, накопичення і відображення інформації. Частота опиту датчиків складає 10 Гц. ІВС результати обробки інформації записує в файли даних на магнітний носій. За необхідності результати записів виводяться у вигляді табличного або графічного матеріалу за допомогою дисплейного модуля, принтера або графопобудовувача.

Моменти навантаження на ведучих колесах ТЗ $M_{2\text{НП}}(t)$ та $M_{2\text{НЛ}}(t)$ зв'язані з моментом навантаження на колінчастому валу ДВЗ співвідношеннями [12]:

$$M_{2\text{НП}}(t) = \frac{M_{\text{Н}}(t)}{2i_{\text{н}}i_{\text{бр}}\eta_{\text{бр}}\eta_{\text{н}}}; \quad (1)$$

$$M_{2\text{НЛ}}(t) = \frac{M_{\text{Н}}(t)}{2i_{\text{л}}i_{\text{бр}}\eta_{\text{бр}}\eta_{\text{л}}}, \quad (2)$$

де $i_{\text{н}}(t)$, $i_{\text{л}}(t)$ — передавальні відношення бортових коробок передач; $i_{\text{бр}}$ — передавальне відношення бортового редуктору; $\eta_{\text{н}}$, $\eta_{\text{л}}$ — ККД бортових коробок передач; $\eta_{\text{бр}}$ — ККД бортового редуктору.

В свою чергу, гальмові моменти, що створюються індукторними гальмами $M_{\text{ГП}}(t)$ та $M_{\text{ГЛ}}(t)$, зв'язані з моментами навантаження $M_{2\text{НП}}(t)$ та $M_{2\text{НЛ}}(t)$ співвідношеннями

$$M_{2\text{НП}}(t) = \frac{M_{\text{ГП}}(t)}{i_1i_2\eta_1\eta_2}; \quad (3)$$

$$M_{2\text{НЛ}}(t) = \frac{M_{\text{ГЛ}}(t)}{i_1i_2\eta_1\eta_2}, \quad (4)$$

при з'єднанні елементів навантажувального пристрою за схемою, приведеною на рис. 2. У співвідношеннях (3) і (4) через η_1 та η_2 позначені ККД мультиплікаторів М1 і М2. Прирівнюємо праві частини співвідношень (1) і (3), а також співвідношень (2) і (4). В результаті отримаємо

$$M_{ГП}(t) = \frac{M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n}; \quad (5)$$

$$M_{ГЛ}(t) = \frac{M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_l}. \quad (6)$$

Момент $M_H(t)$ є випадковою функцією часу, яка може бути подана у вигляді

$$M_H(t) = M_{НО} + \Delta M_H(t). \quad (7)$$

Підстановка (7) у співвідношення (5) і (6) приводить до формул

$$\Delta M_{ГП}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n}; \quad (8)$$

$$\Delta M_{ГЛ}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_l}. \quad (9)$$

Гальмові моменти $M_{ГП}(t)$ та $M_{ГЛ}(t)$ пропорційні струмам збудження, що формуються блоком автоматики

$$\Delta M_{ГП}(t) = k_3 \Delta i_{3л}(t); \quad (10)$$

$$\Delta M_{ГЛ}(t) = k_3 \Delta i_{3л}(t). \quad (11)$$

З урахуванням формул (8)–(11) маємо

$$\Delta i_{3л}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n k_3}; \quad (12)$$

$$\Delta i_{3л}(t) = \frac{\Delta M_H(t) i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_l k_3}. \quad (13)$$

Введемо позначення

$$k_{en} = \frac{i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_n k_3}; \quad k_{el} = \frac{i_1 i_2 \eta_1 \eta_2}{2i_n i_{бр} \eta_{бр} \eta_l k_3}.$$

Тоді співвідношення (12) і (13) приймають вигляд

$$\Delta i_{3л}(t) = k_{en} \Delta M_H(t); \quad (14)$$

$$\Delta i_{3л}(t) = k_{el} \Delta M_H(t). \quad (15)$$

4. Побудова нейроконтролера для ІКС

Для ІКС транспортного дизеля і трансмісії була вибрана архітектура дискретного НК – 3-10-1, тобто вхідний шар НК містить 3 нейрона, розмір схованого шару НК – 10, а вихідний шар НК містить один лінійний нейрон, що формує сигнал керування на k -му кроці $u_j(k)$.

Величина кроку дискретизації сигналу керування Δ_u залежить від динамічних властивостей самого об'єкта керування і від бажаного робочого діапазону частот вхідного впливу. У цьому випадку дискретність керування виберемо рівної $\Delta_u = 0,01$ с.

Метою навчання НК є побудова нелінійної слідуючої системи керування (СК). Далі необхідно сформувати тренувальний набір сигналів. Виберемо набір тренувальних сигналів розміром $M = 11$:

$$u_r^i(k) = A_i 1(k); \quad t \in [0, T];$$

$$A_i = (-8 + 2i); \quad i = \overline{1, 7},$$

де $1(k)$ – дискретний аналог одиничного східчастого сигналу:

$$1(k) = \begin{cases} 0, & k < 0; \\ 1, & k \geq 0. \end{cases}$$

Стрибкоподібні вхідні сигнали в тренувальному наборі необхідні для забезпечення малої статичної помилки нейромережевої системи керування (НСК).

Тривалість тренувальних вхідних сигналів виберемо рівною $T = 10$ с. Якість роботи НСК будемо оцінювати по функціоналу виду

$$I(y) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \frac{1}{k_T} \sum_{k=1}^{k_T} \left(E \cdot t_k + \gamma \frac{E}{t_k + \varepsilon} \right); \quad (16)$$

$$E = \left[\left(\omega_i(k) - u_r^i(k) \right)^2 \cdot t_k \right]^2, \quad t_{k+1} = t_k + \Delta_u,$$

де $\varepsilon = 0,01$ – малий параметр, що вводиться для забезпечення безперервності функціонала; γ – ваговий коефіцієнт, що визначається експериментально.

Результати чисельних експериментів дозволили достатньо точно оцінити область пошуку параметрів НК, тому в цьому випадку можна відмовитися від застосування параметра тангенціальної активаційної функції a і скоротити розмірність пошукового простору.

Для оцінки пристосованості особи по функціоналу (16) диференційні рівняння системи паливоподавання транспортного дизеля перетворюються у форму Коші. Отримана система диференціальних рівнянь інтегрується методом Рунге-Кутта 4-го порядку з постійним кроком 0,001 с.

Далі визначимо область пошуку для ШНМ 3-10-1

$$w_{i,j} \in [-1, 1], \quad i = \overline{0, 3}, \quad j = \overline{1, 10};$$

$$w_i \in [-100, 100], \quad i = \overline{0, 10}.$$

Довжину кожної хромосоми виберемо рівній 16 біт, що дозволить більш точно визначити параметри НСК для ГА пошуку.

Тому що НСК є дискретною, вихід НК розраховується тільки кожні 0,01с і фіксується на період дискретизації. Фіксація виходу НК повинна проводитися не тільки при моделюванні, але і при реальній роботі такої НСК. Проте, на базі НК можуть створюватися і імпульсні НСК, у яких амплітудно-модульований вихідний сигнал НК діє на вхід об'єкта керування обмежений час.

Для створення інваріантної до зовнішніх випадкових збурень НСК з дискретним НК, при навчанні НК будемо подавати на об'єкт збурюючий сигнал, що виникає під час руху автомобіля. Подавати на об'єкт збурюючий сигнал будемо один раз за дві епохи навчання. НК спочатку буде навчатися на навчальній вибірці без урахування збурень, а на наступному кроці – на навчальній вибірці вже з урахуванням збурень.

На рис. 3 та 4 наведено типові розрахункові динамічні процеси для стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля для однієї і тієї ж реалізації випадкового збурення $M_H(t)$. При цьому оцінки коливальності рейки паливного насоса $|\Delta h_{\max}|$ і кутової швидкості обертання колінчастого валу $|\Delta \omega_{\max}|$, що наведені на рисунках, відхиляються від $M[|\Delta h_{\max}|]$ і $M[|\Delta \omega_{\max}|]$ не більш як на 2%. Об'єм статистичної вибірки при розрахунках математичних очікувань складав 10^4 .

На рис. 3 наведено динамічні процеси для штатного блоку керування при оптимальних значеннях варійованих параметрів для стохастичного об'єкту керування.

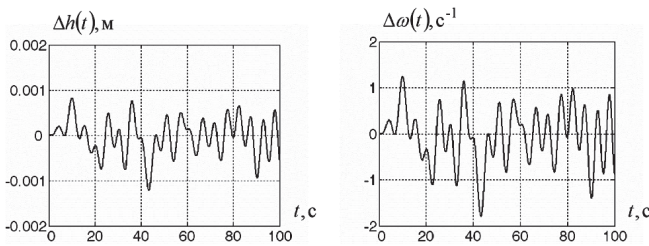


Рис. 3. Динамічні процеси стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля для штатного блоку керування

На рис. 4 наведено динамічні процеси для блоку керування з НК. Навчання НК проводилося за допомогою алгоритму зворотного поширення (випадок а), модифікованого ГА (випадок б) і модифікованого ГА сумісно з алгоритмом зворотного поширення (випадок в).

В табл. 1 наведено чисельні дані проведених розрахунків для системи ІКС транспортного дизеля 3ТД і трансмісії (об'єм статистичної вибірки при розрахунках математичних очікувань – 10^4).

Таблиця 1

Дані розрахунків для ІКС транспортного дизеля 3ТД і трансмісії

№	Алгоритми керування (навчання)	$M[\Delta h_{\max}]_M$	$M[\Delta \omega_{\max}]_{c^{-1}}$
1	Штатний блок керування	0,00121	1,803
2	НК (зворотного поширення)	0,00090	1,512
3	НК (модифікований ГА)	0,00084	1,379
4	НК (модифікований ГА + зворотного поширення)	0,00078	1,289

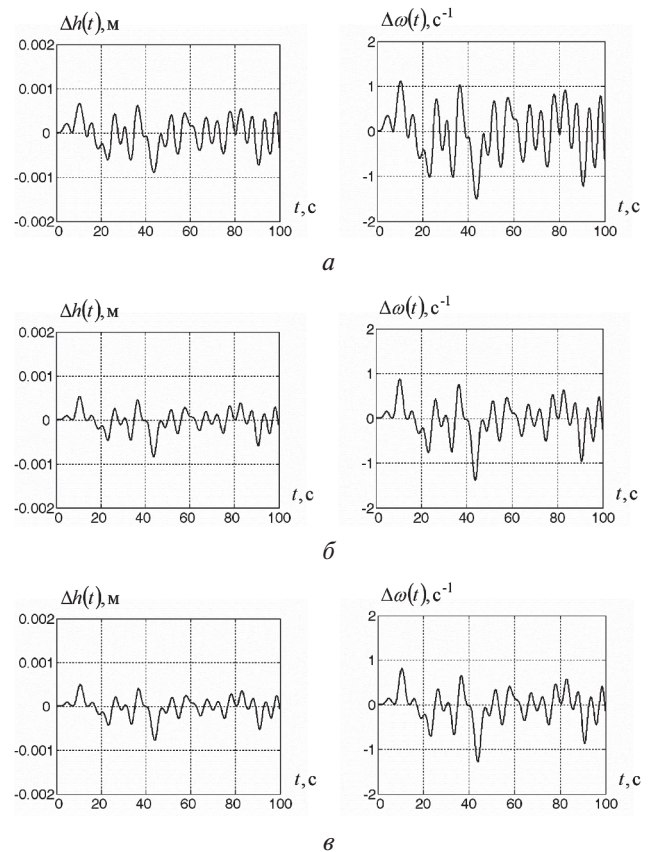


Рис. 4. Динамічні процеси стохастичної системи паливоподавання транспортного дизеля для блоку керування з нейроконтролером

Аналіз вищенаведених динамічних процесів, а також чисельні дослідження дозволяють зробити висновок про те, що введення до контуру керування НК дозволяє зменшити коливальність рейки паливного насоса $\Delta h(t)$ та кутової швидкості обертання колінчастого валу $\Delta \omega(t)$ до 35% (при цьому відносна вибіркова дисперсія не перевищила 5%), тобто дозволяє підвищити точність роботи і паливну економічність дизеля.

Результати проведених досліджень підтверджують ефективність стимульованого навчання НК з затримкою на базі ГА. Стрибкоподібні тренувальні сигнали гарантують синтез НК з малою статичною помилкою, однак для забезпечення НК необхідних динамічних характеристик у тренувальні сигнали необхідно включати гармонічні складові. Завдяки універсальним апроксимаційним властивостям ШНМ синтезовані СК змогли адаптуватися до об'єкту керування.

Також доведено, що необхідний обсяг обчислень і структура НК залежать не стільки від ступеня нелінійності, скільки від порядку об'єкта керування.

Ефективність рішення, що отримано за допомогою запропонованої методики, багато в чому визначається видом функціоналу якості. Вибір функціоналу, що використовується для оцінки роботи синтезованої СК з НК, як і структури самого

закону керування, є задачею, що вирішується дослідником залежно від складності та властивостей об'єкта керування.

Позитивною властивістю СК з НК є низька чутливість до відходу параметрів від заданих (номінальних, оптимальних), що значно спрощує настроювання НК і підвищує стійкість роботи в умовах зовнішніх і внутрішніх збурень. Істотно розподільність (паралельність) обчислювального процесу в ШНМ забезпечує підвищену, у порівнянні із традиційними контролерами, надійність СК, тому що якість роботи СК з НК погіршується з ростом кількості пошкоджень поступово. Вихід нейронів НК із робочого стану або обрив зворотних зв'язків також не приводять до миттєвих руйнівних процесів на відміну від традиційних контролерів.

Результати експериментальних досліджень підтвердили теоретичні результати дослідження стохастичної системи паливоподавання транспортно-го дизеля і ефективність використання штучного інтелекту і новітніх інформаційних технологій.

Висновки

Розроблено математичні моделі інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем наземних транспортних засобів спеціального призначення, зокрема підсистеми двигуна і трансмісії на основі використання відповідних нейроконтролерів у контурах керування, що надає можливість підвищити якість динамічних процесів при відпрацюванні керуючих сигналів і внутрішніх та зовнішніх збурюючих впливів.

Дістало подальший розвиток використання принципів побудови єдиного інформаційного простору на основі об'єднання синергетичного підходу і методів штучного інтелекту для автоматизації управління рухом транспортних машин, що дозволяє підвищити ефективність взаємодії цих машин.

Для подальших досліджень доцільно використання нечітких нейронних мереж і алгоритмів структурного випадкового пошуку на основі еволюційного моделювання.

Список літератури: 1. Інформатизація транспортної інфраструктури, машин та систем [Текст] / О.П.Алексієв, В.О.Алексієв, В.О.Хабаров, Г.Г.Четвериков // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2010. — № 3(74). — С. 52–57. 2. Александров, Є.Є. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами [Текст] / Є.Є.Александров, Е.П.Козлов, Б.І.Кузнецов. — Харків: НТУ «ХПІ», 2002. — 492 с. 3. Алексієв, В.О. Мехатроніка транспортних засобів та систем [Текст] / В.О.Алексієв, В.П.Волков, В.І.Калмиков. — Харків: ХНАДУ, 2004. — 176 с. 4. Пржибыл, П. Телематика на транспорте [Текст] / П.Пржибыл, М.Свитек. — М.: МАДИ (ГТУ), 2003. — 540 с. 5. Ніконов, О.Я. Нейрокибернетический подход к проблеме синтеза интеллектуальных систем

управления колесных и гусеничных машин [Текст] / О.Я.Никонов, А.Е.Истомин // Вісник НТУ «ХПІ». Збір-ка наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- та тракторобудування. — Харків: НТУ «ХПІ», 2005. — № 10. — С. 51–54. 6. Обчислювальні модулі для бортових інформаційно-керуючих систем бронетанкової техніки [Текст] / В.С.Глухов, Н.В.Заїченко, В.І.Іванов, Б.О.Оліярник // Механіка та машинобудування. — 2000. — № 1. — С. 115–122. 7. Анипко, О.Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники [Текст] / О.Б.Анипко, М.Д.Борисюк, Ю.М.Бусяк. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. — 196 с. 8. Рябчук, В.Д. Проблемы теории и практики создания единой автоматизированной системы управления тактического звена [Текст] / В.Д.Рябчук, В.И.Ничипор // Военная мысль. — 2010. — №5. — С. 55–60. 9. Ніконов, О.Я. Розроблення і синтез інтегрованих інформаційно-керуючих телематичних систем для колісних та гусеничних машин спеціального призначення [Текст] : дис. докт. техн. наук / О.Я. Ніконов. — Харків, 2010. — 478 с. 10. Ніконов, О.Я. Активні системи гасіння коливань виконавчих механізмів транспортних роботів на основі теорії штучних нейронних мереж [Текст] / О.Я.Ніконов // Машинознавство. — 2006. — № 1. — С. 19–22. 11. Александрова, Т.Е. Параметрический синтез электронного всережимного регулятора дизеля 6ТД для детерминированного объекта [Текст] / Т.Е.Александрова, О.Я.Никонов // Механіка та машинобудування. — 2001. — № 1,2. — С. 184–189. 12. Александров, Е.Е. Многоканальные системы оптимального управления [Текст] / Е.Е.Александров, И.Н.Богаенко, Б.И.Кузнецов. — К.: Техніка, 1995. — 312 с.

Надійшла до редколегії 25.02.2011.

УДК 519.683:656.11:681.3

Разработка информационно-управляющей подсистемы двигателя и трансмиссии транспортных средств специального назначения на основе нейродинамических моделей / О.Я. Никонов, Н.В. Шатохина, В.Ю. Улько // Бионика интеллекта: науч.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 114–119.

На основе динамических искусственных нейронных сетей и методов эволюционного моделирования синтезирована информационно-управляющая подсистема двигателя и трансмиссии транспортных средств специального назначения. Проведены теоретические и экспериментальные исследования, показавшие эффективность разработанной интеллектуальной системы.

Ил. 4. Библиогр.: 12 назв.

UDC 519.683:656.11:681.3

Development of informational-controlling subsystems of the engine and power train of special destination vehicles on a basis neurodynamic models / O.J.Nikonov, N.V.Shatokhina, V.J.Ulko // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 114–119.

On the basis of dynamic artificial neural networks and methods of evolutionary simulation the informational-controlling subsystem of the engine and power train of special destination vehicles is synthesized. The theoretical and experimental researches which have shown effectiveness of developed intellectual system are carried out.

Fig. 4. Ref.: 12 items.

ОБ АВТОРАХ

Алексеев Владимир Олегович	107	д-р техн. наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры мехатроники автотранспортных средств Харьковского национального автомобильно-дорожного университета
Белоиваненко Максим Викторович	66	младший научный сотрудник кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Бондар Ирина Александровна	102	канд. экон. наук, доцент кафедры компьютерных систем и технологий Харьковского национального экономического университета
Бондаренко Михаил Федорович	3, 8	член-корреспондент НАН Украины, д-р техн. наук, профессор, ректор Харьковского национального университета радиоэлектроники
Волкова Наталья Павловна	56	старший преподаватель кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет
Воскобойникова Анна Андреевна	94	ассистент кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Глушенкова Ирина Сергеевна	75	аспирант, старший преподаватель кафедры ГИСиГ Харьковской национальной академии городского хозяйства
Гороховатский Алексей Владимирович	52	канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры информатики и компьютерной техники Харьковского национального экономического университета
Гороховатский Владимир Алексеевич	48	канд. техн. наук, профессор кафедры информатики Харьковского национального университета радиоэлектроники
Гофман Евгений Александрович	35	аспирант кафедры программных средств Запорожского национального технического университета
Гребенник Игорь Валериевич	41	д-р техн. наук, профессор кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Грицай Денис Васильевич	41	студент факультета компьютерных наук Харьковского национального университета радиоэлектроники
Гришко Андрей Александрович	88	аспирант кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
Губаренко Евгений Витальевич	13	аспирант кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Дубровин Валерий Иванович	98	канд. техн. наук, профессор кафедры программных средств Запорожского национального технического университета
Каменева Ирина Витальевна	3	аспирант кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники

Карпухин Александр Владимирович	52	канд. техн. наук, доцент кафедры информационных технологий в физико-энергетических системах Харьковского национального университета им. В.Н.Каразина
Кораблев Николай Михайлович	84	канд. техн. наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
Корниловский Артем Викторович	75	магистрант кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Кривчикова Анна Александровна	79	аспирант кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
Кругликова Наталья Павловна	8	аспирант кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
Крылов Виктор Николаевич	56	д-р техн. наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет
Кучеренко Евгений Иванович	75	д-р техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Никонов Олег Яковлевич	114	д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой информатики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета
Олейник Алексей Александрович	35	канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры программных средств Запорожского национального технического университета
Петренко Татьяна Григорьевна	70	канд. техн. наук, доцент кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета
Петров Эдуард Георгиевич	13	д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники
Полякова Марина Вячеславовна	56	канд. техн. наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет
Русакова Наталья Евгеньевна	3, 8	аспирант кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
Смеяков Сергей Вячеславович	21	д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры математического и программного обеспечения АСУ Харьковского университета Воздушных сил
Субботин Сергей Александрович	35	канд. техн. наук, доцент кафедры программных средств Запорожского национального технического университета
Твердохлеб Юлия Владимировна	98	студент кафедры программных средств Запорожского национального технического университета

Тимчук Олег Сергеевич	70	аспирант кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета
Удовенко Сергей Григорьевич	88	д-р техн. наук, профессор кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
Улько Владимир Юрьевич	114	аспирант кафедры информатики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета
Фомичев Александр Александрович	84	аспирант кафедры электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники
Чалая Лариса Эрнестовна	88	канд. техн. наук, доцент кафедры искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники
Чалый Сергей Федорович	79	д-р техн. наук, профессор кафедры информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники
Шабанов-Кушнаренко Юрий Петрович	3, 8	д-р техн. наук, профессор кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники
Шатохина Наталья Владимировна	114	канд. техн. наук, доцент кафедры стратегического управления Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»
Шубин Игорь Юрьевич	3	канд. техн. наук, профессор кафедры программного обеспечения ЭВМ Харьковского национального университета радиоэлектроники

ПРАВИЛА оформлення рукописів для авторів науково-технічного журналу «БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ»

Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту» приймає до друку написані спеціально для нього оригінальні рукописи, які раніше ніде не друкувались. Структура рукопису повинна бути такою: індекс УДК, заголовок, відомості про авторів, анотація, ключові слова, вступ, основний текст статті, висновки, список використаної літератури.

Відповідно до Постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 (Бюлетень ВАК, №1, 2003, с. 2), стаття повинна мати такі необхідні елементи: постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій і виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми в даній області; формулювання цілей та завдань дослідження; виклад основного матеріалу досліджень з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження та перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Статті мають бути виконані в редакторі Microsoft Word. Формат сторінки — А4 (210x297 мм), поля: верхнє — 25 мм, нижнє — 20 мм, ліве, праве — 17 мм. Кількість колонок — 2, з інтервалом між ними 5 мм, основний шрифт Times New Roman, кегль основного тексту — 10 пунктів, міжрядковий інтервал — множник (1,1), абзацний відступ — 6 мм. Обсяг рукопису — від 4 до 12 сторінок (мови: російська, українська, англійська).

УДК друкується з першого рядка, без відступів, вирівнювання по лівому краю.

Назва статті друкується прописними літерами; шрифт прямий, напівжирний, кегль 12. *Назви розділів* нумерують арабськими цифрами, виділяють жирним шрифтом. Відступи для назви статті, ініціалів та прізвищ авторів, відомостей про авторів, назв розділів, вступу та висновків, списку літератури: зверху — 6 пт, знизу — 3 пт.

Анотацію (мовою статті, абзац 4-10 рядків, кегль 9) розміщують на початку статті, в ній має бути розміщена інформація про результати описаних досліджень.

Ключові слова (4-10 слів з тексту статті, які з точки зору інформаційного пошуку несуть змістовне навантаження) наводять мовою рукопису, через кому в називному відмінку, кегль 9.

Малюнки та таблиці (чорно-білі, контрастні) розміщуються у тексті після першого посилання у вигляді окремих об'єктів і нумерують арабськими цифрами наскрізною нумерацією за наявності більше ніж одного об'єкта. Невеликі схеми, що складаються з 3-4 елементів виконують, використовуючи вставку об'єкта Рисунок Microsoft Word. Більш складні виконують у графічних редакторах у вигляді чорно-білих графічних файлів форматів .tiff, .jpg, .wmf, .cdr із розділенням 300 dpi. Рисунки мають міститися у текстовому файлі й обов'язково

подаватися окремим файлом з відповідною назвою (наприклад, Рис.1.cdr).

Усі елементи малюнка, включаючи написи, повинні бути згруповані. Усі написи в малюнках і таблицях мають бути виконані шрифтом Times New Roman, кегль у малюнках — 10, у таблицях — 9.

Малюнок повинен мати центрований підпис (поза малюнком), шрифт 9, відступи зверху і знизу по 6 пт. Ширина малюнка має відповідати ширині колонки (або ширині сторінки).

Формули, символи, змінні, повинні бути набрані в редакторі формул MathType або Microsoft Equation. Формули розміщують посередині рядка й нумерують за наявності посилань на них у рукописі. Шрифт — Times New Roman. Висота змінної — 10 пунктів, великих і малих індексів — 8 пт, основний математичний символ — 12 (10) пт. Змінні, позначені латинськими літерами, набирають курсивом, грецькі літери, скорочення російських слів і цифри — прямим написанням. Змінні, які є в тексті, також набирають у редакторі формул.

Список літератури вміщує опубліковані джерела, на які є посилання в тексті, укладені у квадратні дужки, друкують без абзацного відступу, кегль 9 пт, відступ зверху — 6 пт.

Після списку літератури з відступом зверху 6 пт зазначають дату подання статті до редколегії. Число та місяць задають двозначними числами через крапку. Розмір шрифта — 9 пт, курсив, вирівнювання по правому краю.

Реферати (Times New Roman, кегль — 9 пунктів, 3-4 речення) подають російською та англійською мовами. Реферат не повинен дублювати текст анотації.

Разом із рукописом (на аркушах білого паперу формату А4 щільністю 80-90 г/м², надрукований на лазерному принтері, у 2-х примірниках) необхідно подати такі документи:

1. Заяву, яку повинні підписати всі автори.
2. Акт експертизи про можливість опублікування матеріалів у відкритому друці.
3. Рецензію, підписану доктором наук.
4. Відомості про авторів.
5. Електронний варіант рукопису, реферату та відомостей про авторів.
6. Оплату за публікацію.

Необхідно також зазначити один з наступних тематичних розділів, якому відповідає рукопис:

1. Теоретичні основи інформатики та кібернетики. Теорія інтелекту
2. Математичне моделювання. Системний аналіз. Прийняття рішень
3. Інтелектуальна обробка інформації. Розпізнавання образів
4. Інформаційні технології та програмно-технічні комплекси
5. Структурна, прикладна та математична лінгвістика
6. Дискусійні повідомлення

Наукове видання

БІОНІКА ІНТЕЛЕКТУ
інформація, мова, інтелект

Науково-технічний журнал

№ 1 (75)

2011

Головний редактор — *М. Ф. БОНДАРЕНКО*

Відповідальний редактор — *Ю. П. Шабанов-Кушнарєнко*

Заступник відповідального редактора — *Г. Г. Четвериков*

Відповідальний секретар — *І. Д. Вечірська*

Коректор — *Л. М. Денісова*

Комп'ютерна верстка — *О. Б. Ісаєва*

Рекомендовано Вченою Радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 1 від 29.04.2011)

Адреса редакції:

Україна, 61166, Харків-166, просп. Леніна, 14,
Харківський національний університет радіоелектроніки, к. 127, 285
тел. 702-14-77, факс 702-10-13,
e-mail: bionics@kture.kharkov.ua

Підписано до друку 12.05.2011. Формат 60 x 84 ¹/₈. Друк ризографічний.
Папір офсетний. Гарнітура Newton. Умов. друк. арк. 14,42. Обл.-вид. арк. 14,0.
Тираж 100 прим. Зам. № .

Надруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків-166, просп. Леніна, 14