

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

12(148)
2008

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с ноября 1995 г.

УЧРЕДИТЕЛЬ
Издательство "Новые технологии"

СОДЕРЖАНИЕ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

- Найханова Л. В., Хаптахаева Н. Б., Янсанова Е. Н. Создание декларативного метода извлечения знаний из терминологических словарей. 2
- Бочков М. В., Бородащенко А. Ю., Салбиев А. Л. Алгоритм оценки массива текстов на семантическое сходство с эталоном 8
- Гермашев И. В., Силина А. Ю., Васильева В. Д., Дербишер В. Е. Обработка нечетких данных для оценки активности научной деятельности 12

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Мандрикова О. В., Полозов Ю. А. Автоматизированный способ обработки сигналов со сложной структурой. 15
- Соколов Э. М., Панарин В. М., Нуртдинов Р. В., Зуйкова А. А. Внедрение новых информационных технологий в работу органов управления системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций 20

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

- Зинкин С. А. Реализация барьерной синхронизации и управление процессами в виртуальном сетевом дисковом массиве. 22
- Андреев Д. В. Цифровые процессоры с одномерной структурой для сортировки многозначных данных 30

НЕЙРОСЕТИ

- Малыхина Г. Ф., Меркушева А. В. Сеть с габоровской функцией преобразования нейронов и метод классификации объектов дистанционного наблюдения 35
- Маткова Е. А., Ковшов Е. Е. Классификатор интегрированной системы биомедицинского назначения на базе нейросетевых модулей 42

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

- Трахтенгерц Э. А. Компьютерная технология реализации динамики информационного управления в конфликтных ситуациях. Часть II. Оценка эффективности стратегии и целей. . . 45
- Машунин Ю. К. Агрегированная модель развития рынка 51

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

- Бузановский В. А. Принципы синтеза информационно-измерительных систем состава и свойств веществ 58
- Чернецова Е. А., Шишкин А. Д. Оптимальное ранговое правило обнаружения объекта . . 63
- Балакирев Н. Е., Малков М. А. Метод идентификации голосового сообщения 66

ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ

- Бочаров Н. В. Информация в живых системах. 69
- Указатель статей, опубликованных в журнале "Информационные технологии" в 2008 году 75
- Указатель приложений к журналу "Информационные технологии", опубликованных в 2008 году. 79
- Contents 79
- Приложение. Гуревич И. М. Оценка основных информационных характеристик Вселенной.

Главный редактор
НОРЕНКОВ И. П.

Зам. гл. редактора
ФИЛИМОНОВ Н. Б.

Редакционная
коллегия:

АВДОШИН С. М.
АНТОНОВ Б. И.
БАТИЩЕВ Д. И.
БАРСКИЙ А. Б.
БОЖКО А. Н.
ВАСЕНИН В. А.
ГАЛУШКИН А. И.
ГЛОРИОЗОВ Е. Л.
ГОРБАТОВ В. А.
ДОМРАЧЕВ В. Г.
ЗАГИДУЛЛИН Р. Ш.
ЗАЛЕЩАНСКИЙ Б. Д.
ЗАРУБИН В. С.
ИВАННИКОВ А. Д.
ИСАЕНКО Р. О.
КОЛИН К. К.
КУЛАГИН В. П.
КУРЕЙЧИК В. М.
ЛЬВОВИЧ Я. Е.
МАЛЬЦЕВ П. П.
МЕДВЕДЕВ Н. В.
МИХАЙЛОВ Б. М.
МУХТАРУЛИН В. С.
НАРИНЬЯНИ А. С.
НЕЧАЕВ В. В.
ПАВЛОВ В. В.
ПУЗАНКОВ Д. В.
РЯБОВ Г. Г.
СТЕМПКОВСКИЙ А. Л.
УСКОВ В. Л.
ЧЕРМОШЕНЦЕВ С. Ф.
ШИЛОВ В. В.

Редакция:

БЕЗМЕНОВА М. Ю.
ГРИГОРИН-РЯБОВА Е. В.
ЛЫСЕНКО А. В.
ЧУГУНОВА А. В.

Аннотации статей размещены на сайте журнала по адресу <http://www.informika.ru/text/magaz/it/> или <http://novtex.ru/IT>.

Журнал входит в Перечень научных журналов, в которых по рекомендации ВАК РФ должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

УДК 004.82

Л. В. Найханова, канд. техн. наук, зав. кафедрой,
Н. Б. Хаптахаева, канд. техн. наук, доцент,
Е. Н. Янсанова, аспирант,
Восточно-Сибирский государственный
технологический университет, г. Улан-Удэ

Создание декларативного метода извлечения знаний из терминологических словарей

Рассматривается проблема извлечения знаний из терминологических словарей с явной и неявной структурой словарных статей. Для ее решения разработаны шаблоны утверждений, представляющие собой описание той или иной ситуации, в которой находится объект анализа. На основе шаблонов создаются метаописания, позволяющие формировать систему productions по заданному методу извлечения знаний.

Ключевые слова: извлечение знаний, метаописание словаря, продукционные правила.

Введение

Возможность автоматического построения онтологии предметной области обеспечивается извлечением знаний из качественных терминологических и/или толковых словарей. При этом терминосистема, созданная на основе извлеченных знаний из словарей, представляет собой ядро онтологии предметной области. Конечный вариант онтологии должен быть создан посредством соединения нескольких ядер онтологий, построенных на основе разных терминологических словарей. Надо отметить, что терминологические словари, предназначенные для создания онтологии предметной области, должны отбираться экспертом в рассматриваемой области знаний.

Данная работа посвящена решению задачи извлечения знаний из терминологического словаря. Для ее решения предлагается создание декларативного метода извлечения знаний, основанного на применении ситуационного моделирования и аппарата систем productions.

Структура словарной статьи

В качестве формы представления терминосистемы использован тезаурус, структуры словар-

ных статей которого рассмотрены в работе [1]. Приведем структуру словарной статьи "Понятие":

$t. t = \langle t_1, t_2, t_3 \rangle$, где t_1 — имя термина; t_2 — тип концептуального объекта; t_3 — вид сущности.

$D. D = \{d_i | d_i$ — субстанциальная дефиниция, $i = 1...n$, n — число выбранных дефиниций}.

$Pr. Pr = \{(pr_1, pr_2)_i | pr_1$ — тип свойства: количественное, качественное, pr_2 — свойство, i — число свойств понятия}.

$A. A = \{a_i | a_i$ — действие, $i = 1...n$, n — число действий, релевантных термину}.

C . Множество терминов, имеющих количественные отношения с термином t , определяется двойкой $\langle C_1, C_2 \rangle$, где $C_1 = \{c_{1i} | c_{1i}$ — синоним, $i = 1...k$, k — число синонимов}, а $C_2 = \{c_{2i} | c_{2i}$ — коррелят, $i = 1...m$, m — количество коррелятов}.

TK . Множество терминов, имеющих качественные отношения с термином t , определяется кортежем $\langle TK_1, TK_2, TK_3, TK_4 \rangle$, где

TK_1 — множество понятий, составляющих родовидовые отношения с текущим термином t ; определяется двойкой $\langle TK_{11}, TK_{12} \rangle$, где TK_{11} — множество понятий, являющихся родом t , TK_{12} — множество понятий, являющихся видом t ;

TK_2 — множество понятий, составляющих отношение "часть—целое" с t ; определяется двойкой $\langle TK_{21}, TK_{22} \rangle$, где TK_{21} — множество понятий, являющихся целым для t , TK_{22} — множество понятий, являющихся частью t ;

TK_3 — множество терминов, обозначающих способ представления t ;

TK_4 — множество терминов, обозначающих способ выражения t .

M . С помощью элемента M определяются отношения между знаковыми системами. Он определяется двойкой $\langle M_{21}, M_{22} \rangle$, где

M_{21} — способ метаязыкового представления, который позволяет зафиксировать связь термина и его представления в метаязыке;

M_{22} — термин другого языка, который позволяет зафиксировать связь терминов различных предметных областей.

Таким образом, из терминологических словарей необходимо извлечь знания об элементах приведенной словарной статьи.

Ситуационное моделирование

Современные работы в области лингвистики [2] утверждают, что единицы текста (предложение, лексема, морфема и т. д.) создают ситуационный контекст. Ситуационный контекст текста отража-

ет: форму и содержание текста, если единицами являются предложения; предложения, если единицами являются лексемы; лексемы, если единицами являются морфемы. Анализ языковых ситуаций в научном тексте составляет одну из основ современной лингвистики. По мнению А. А. Залевской, ситуационный подход "акцентирует" внимание на том, что для пользующегося языком человека значение слова реализуется через включение его в некоторую более объемную единицу — пропозицию, фрейм, схему, сцену, сценарий, событие, ментальную модель и т. п. Важно также подчеркнуть, что единицы текста функционируют не по отдельности, а в определенных связях.

Таким образом, для естественно-языковых методов обработки научного текста можно использовать язык ситуационного моделирования. Основной единицей языка является *простая ядерная конструкция вида xRy* [3]. В средней ее позиции находится некоторое отношение, в крайних позициях — термины.

Следуя классификации И. Дальберг, к концептуальным отношениям относятся качественные и количественные отношения. Приведем детализацию этих отношений в разрезе понятийных сфер: абстрактное—конкретное, принадлежности, формы и содержания, процессуальности, тождества и противопоставления. Группировка отношений по понятийным сферам (уровням абстракции) дает возможность более четко понять семантику каждого отношения. В табл. 1 представлена иерархия отношений.

Элементы x и y представляются посредством конструкции вида ts_t/v_t , где t — терм метода; s_t — обозначение терма; v_t — значение терма. Множество термов любого метода естественно-языковой обработки научного текста делится на множества *базовых термов, собственных термов, терм-спутников и терм-признаков*. Множество значений базовых термов T_B определяется сферой применения реализуемых методов и для метода извлечения знаний из терминологических словарей имеет вид $T_B = \{\text{предложение, лексема, термин, СемОтношение, ГруппаОтношений, индекс, значение, тип, элемент, категория, свойство, терм-признак, контрпризнак, ...}\}$. Рассматриваемый метод в зависимости от источника знаний содержит различные способы поиска объектов словарных статей словаря. Для каждого способа формируются следующие множества: собственных термов T_O ; ху-спутников T_{Sxy} ; R-спутников T_{SR} и терм-признаков T_C , которые содержат термы, характерные для данного способа. При этом множество R-спутников включено во множество ху-спутников. Терм-признаки используются при извлечении знаний о дефиниции, термине, синониме, корреляте и других объектах. Допустимое множество значений терм-признаков представляет собой множество пар, компоненты которых являются также множествами: $T_C = \{C, CC\} | C — \text{Characteristic, признак; } CC — \text{CounterCharacteristic, контрпризнак}\}$. При этом во многих случаях $CC = \emptyset$.

К признакам относятся термы, присутствие которых в предложении является значимым для

Таблица 1

Иерархия отношений между терминами

Категория отношений	Группа отношений	Отношение (R)	Понятийная сфера
Квалитативные	Иерархии	Род ↔ вид Признак ↔ значение признака Инвариант ↔ вариант	Сфера абстрактного — конкретного
	Агрегации	Целое ↔ часть Объект ↔ пространство реализации (локализации) объекта Объект ↔ свойства/признак Уровень ↔ единица уровня	Сфера принадлежности
	Функциональные	Объект действия ↔ действие ↔ субъект действия Причина ↔ следствие Условие ↔ действие Событие ↔ действие Состояние ↔ действие Событие ↔ состояние Инструмент ↔ действие Данные ↔ действие Данные ↔ величины	Сфера процессуальности
	Семиотические	Термин ↔ способ выражения Термин ↔ способ представления Термин ↔ метазнак термина	Сфера формы и содержания
Квантитативные	Тождества Корреляции	Термин ↔ синоним термина Термин ↔ коррелят термина	Сфера тождества и противопоставления

определения искомого объекта — дефиниции, синонима, коррелята и др. Контрпризнаком является терм, если значимым для однозначного определения искомой ситуации является его отсутствие в рассматриваемом предложении.

Как правило, базовый терм t_B , собственный терм t_O , x -спутник t_{Sxy} входят в состав элементов x и y простой ядерной конструкции, а R -спутник t_{SR} и глагол v составляют семантическое отношение R . Множество значений R -спутников определяется семантическим отношением. Например, для отношения локализации отношение R имеет вид "расположен слева", "находится внутри", тогда $T_{SR} = \{\text{слева, справа, сверху, снизу, снаружи, внутри, ...}\}$. Представленный способ позволяет определить структуру элементов простой ядерной конструкции xRy .

В ходе исследований был проведен анализ словарных статей терминологических словарей, различных по структуре и содержанию [4]. Исследования показали, что словари делятся на словари с явно и неявно определенной структурой словарной статьи. Каждый элемент словарной статьи в конкретном терминологическом словаре находится в определенной ситуации. Все возможные ситуации должны быть описаны в метаописании словаря.

Метаописания терминологических словарей

Рассмотрим метаописания, предназначенные для распознавания отношений в словарях с явной и неявной структурой словарных статей, и мета-

описания для распознавания термина, дефиниции, синонима, коррелята. Для всех видов метаописаний созданы шаблоны, примеры которых приведены в табл. 2—4.

В таблицах приведена только небольшая часть примеров в целях разъяснения принципа формирования шаблонов, предназначенных для генерации метаописаний.

Анализ терминологических словарей позволяет создать интенциональное (шаблоны) и экстенциональное (значения элементов шаблона) описания ситуационных контекстов объектов анализа. По шаблонам генерируется метаописание, соответствующее одному терминологическому словарю. Для представления метаописания словаря использована XML-нотация.

Прототип метаописания в общем виде имеет следующую структуру:

```
<ТерминологическийСловарь>
<Название> ... </Название>
<Автор> ... </Автор>
<ТипСтрукСлСт> явная/неявная </ТипСтрукСлСт>
<ЭлементыСловарнойСтатьи>
  <Термин>
    <ИмяТермина> ... </ИмяТермина>
    <ТипКонцептОб> ... </ТипКонцептОб>
    <ВидСущности> ... </ВидСущности>
  </Термин>
  <Дефиниция> ... </Дефиниция>
  <СвойстваТермина> ... </СвойстваТермина>
  <Действие> ... </Действие>
  <КвантитОтношения>
    <Синоним> ... </Синоним>
```

Таблица 2

Основные компоненты шаблона для распознавания отношений в словарях с явной структурой словарных статей (примеры)

Распознаваемый объект	Шаблон	v	t_{SR}	Морфологическая информация о B mB (чр,п,ч)			Признак-разделитель A и B (c)
				Часть речи	Падеж	Число	
Отношение: Род (A) ↔ Вид (B)	$A \cdot c \cdot nB \cdot mB$ (чр,п,ч)	<i>Null</i>		Прил.	Им.	Ед.	Пробел
	Пример: Автоматизация комплексная, полная, частичная						
	$A \cdot c \cdot nB \cdot mB$ (чр,п,ч)	<i>Null</i>		Сущ.	Им.	Ед.	"—"
	Пример: Программа-интерпретатор, транслятор, сборщик						
	$A \cdot c \cdot nB \cdot mB$ (чр,п,ч)	<i>Null</i>		Сущ.	Род.	Ед.	Пробел
Отношение: Целое (A) ↔ Часть (B)	Пример: Алфавит Алгола, Бейсика, Рапиры						
	$nB \cdot mB$ (чр,п,ч) · $c \cdot A$	<i>Null</i>		Сущ.	Им.	Мн.	"..."
	Пример: Буквы, цифры, операции, специальные символы...алфавита						
Отношение: Объект (A) ↔ свойство (B)	$A \cdot v \cdot t_{SR} \cdot B$	<i>Cocount</i>	из	Сущ.	Род.	Мн.	Пробел
	Пример: Байт состоит из битов						
	$nB \cdot mB$ (чр,п,ч) · $c \cdot A$	<i>Null</i>		Сущ.	Им.	Ед.	"..."
	Пример: Емкость, частота вращения... магнитного барабана						
	...	...		...	...	...	...

Пример шаблонов для распознавания дефиниции и синонима

Распознаваемый объект	Шаблон	№ предложения (s)	Признаки (c)	Контрпризнаки (cc)	Значения	x
Дефиниция (A)	$s \cdot c \cdot cc \cdot x$	1	"—"	i)	$1 \div n$	A
	$s \cdot c \cdot c \cdot nx$	1	"—" i)	null null	null $1 \div n$	$A_1, \dots, A_n$
Синоним (A)	$s \cdot c \cdot cc \cdot x$	k	"Син.:"	,"	null	A
	$s \cdot c \cdot c \cdot nx$	k	"Син.:" ,"	null null	null null	$A_1, \dots, A_n$

Таблица 4

Основные компоненты шаблона для распознавания отношений в словарях с неявной структурой словарных статей (примеры)

Распознаваемый объект	Шаблон	xy-спутник (t_{Sxy})	x	v	r-спутник (t_{SR})	xy-спутник (t_{Sxy})	y
Отношение Объект (A) ↔ свойства/признак (B)	$x \cdot v \cdot t_{Sxy} \cdot y$		A A	обладает имеет		свойством признак	B B
	$x \cdot v \cdot t_{SR} \cdot ny$		A	характеризуется	ниличием		$B_1, \dots, B_n$
	$r_{Sxy} \cdot x \cdot v \cdot y$	для	A	характерно			B
	$t_{Sxy} \cdot x \cdot v \cdot ny$	факторами к критериям	A A	являются относятся			$B_1, \dots, B_n$ $B_1, \dots, B_n$
	$x \cdot v \cdot t_{Sxy} \cdot ny$		A	имеет		параметры	$B_1, \dots, B_n$
Отношение Объект (A) ↔ пространство реализации/локализации объекта (B)	$t_{Sxy} \cdot x \cdot v \cdot y$	место	A	есть			B
	$x \cdot v \cdot y$		A	находится в			B
	$x \cdot v \cdot t_{SR} \cdot y$		A A	находится находится	справа/слева от сверху/снизу от внутри/снаружи		B B
			A A	расположено расположено			B B

<Коррелят> ... </Коррелят>
 </КвантитОтношения>
 <КвалитОтношения>
 <ЧастьЦелое> ... </ЧастьЦелое>
 <РодВид> ... </РодВид>
 <СпбПредст> ... </СпбПредст>
 <СпбВыражения> ... </СпбВыражения>
 <МетаязПредст> ... <МетаязПредст>
 <ТерминДрЯзыка> ... </ТерминДрЯзыка>
 ...
 </КвалитОтношения>
 </ЭлементыСловарнойСтатьи>
 </ТерминологическийСловарь>

Каждый слот, соответствующий элементу словарной статьи, в свою очередь, может иметь значение *Null* или включать слоты, содержащие описание различных ситуаций, в которых находится объект словарной статьи рассматриваемого словаря. Рассмотрим описание объекта "Дефиниция". Как правило, дефиниция следует за заглавным словом и отделяется от него символом '-'. В словаре в одной словарной статье термин может иметь одну дефиницию, в другой — несколько. Если термин имеет несколько дефиниций, каждое из них может выделяться совокупностью символов "1)", либо "1.", либо "а)". Если необходимо

описать ситуацию, когда термин имеет одну дефиницию, то признаком служит символ '--', а контрпризнаками — символы: "1)", "1.", "а)". В одном словаре для представления дефиниций может использоваться только пара признаков, например '--' и "1)", или '--' и "1.", или '--' и "а)". В словаре [5] встречаются разные ситуации, описывающие дефиниции. Метаописание, соответствующее распознаванию дефиниций в словаре [5], строится следующим образом:

<Дефиниция>
 <ИндексПредложения> 1 </ИндексПредложения>
 <Max_i> n </Max_i>
 //выделение одной дефиниции
 <МножествоТерм-признаков>
 <Терм-признак> '--' </Терм-признак>
 <МножествоКонтрпризнаков>
 <Контрпризнак> i')' </Контрпризнак>
 </МножествоКонтрпризнаков>
 </МножествоТерм-признаков>
 //выделение нескольких дефиниций
 <МножествоТерм-признаков>
 <Терм-признак> '--' </Терм-признак>
 <Терм-признак> i')' </Терм-признак>
 </МножествоТерм-признаков>
 </Дефиниция>

Для примера рассмотрим компонент метаописания, предназначенный для распознавания отношения Род↔Вид в терминологическом словаре с явно выраженной структурой [6] и описанный в табл. 2:

```
<РодВид>
  <Шаблон>
    <ЗначениеШаблона> "A·c·nB·mB(чр, п, ч)" </ЗначениеШаблона>
    <Род> A </Род>
    <РазделительAB> '·' </РазделительAB>
    <Виды> nB </Виды>
    <КоличествоВ> n </КоличествоВ>
    <МИ_В>
      <ЧастьРечи> "Прил" </ЧастьРечи>
      <Падеж> "Им" </Падеж>
      <Число> "Ед" </Число>
    </МИ_В>
  </Шаблон>
</Шаблон>
<Шаблон>
  <ЗначениеШаблона> "A·c·nB·mB(чр, п, ч)"
  </ЗначениеШаблона>
  <Род> A </Род>
  <РазделительAB> '·' </РазделительAB>
  <Виды> nB </Виды>
  <КоличествоВ> n </КоличествоВ>
  <МИ_В>
    <ЧастьРечи> "Сущ" </ЧастьРечи>
    <Падеж> "Им" </Падеж>
    <Число> "Ед" </Число>
  </МИ_В>
</Шаблон>
...
```

Таким образом, для каждого словаря независимо от степени структурированности его словарных статей можно сгенерировать его метаописание в виде XML-файла, который необходим для построения продукционных правил.

Построение базы продукционных правил

Используемый в работе ситуационный подход позволяет описывать методы автоматического извлечения знаний из терминологического словаря в виде продукционного правила. Продукцию принято описывать семеркой:

$$pr = \langle I, K, O, C, A \Rightarrow B, H, E \rangle,$$

где I — уникальное имя продукции, с помощью которого данная продукция выделяется из всего множества продукции; K — сфера применения или секция продукции; разделение знаний на отдельные сферы позволяет экономить время на поиск нужных знаний; O — приоритетность выполнения продукции; C — условие применимости продукции, которое обычно представляет собой логическое выражение (как правило, предикат); $A \Rightarrow B$ — ядро продукции; H — постдействия или постусловия продукции; они описывают действия и процедуры, которые необходимо выполнить по-

сле реализации, и актуализируются только в том случае, если ядро продукции реализовалось; E — связи с другими продуктами.

Сфера применения продукции определяется характером описываемых в работе методов, т. е. сферой применения K в данном случае является извлечение знаний из терминологических словарей. Приоритетность продукции O проставляется автоматически по длине условия применимости, при этом самое длинное условие имеет наивысший приоритет. Постдействие H и связи E с другими продуктами определяются при разработке ядра, описанию которого посвящен следующий ниже материал. Основным элементом продукции является ядро продукционного правила в виде *Если* <посылка>, *то* <заключение>.

Разрабатываемая база продукционных правил предназначена для системы извлечения знаний, на вход которой поступает текст словарной статьи на естественном языке, предварительно прошедший препроцессорную обработку. Препроцессорная обработка текста заключается в разбиении сложных предложений на простые, выделении лексем, определении их морфологической информации и выявлении словосочетаний (терминологических сочетаний), причем множество предложений и лексем проиндексировано. Рассмотрим примеры продукционных правил для извлечения знаний из терминологических словарей.

Определение дефиниции. В словарной статье может быть приведена одна или несколько дефиниций. Ниже показаны два продукционных правила для выявления одной и нескольких дефиниций.

```
ЕСЛИ
<предложение> s {имеет} <индекс> I И
<индекс> i {имеет} <значение> [1] И
<предложение> s {содержит} <терм-признак> p1 И
<терм-признак> p1 {имеет} <значение> ['·'] И
<терм-признак> p1 {имеет} <индекс> i И
<предложение> s {содержит} <контрпризнак> k1 И
<контрпризнак> k1 {не имеет} <значение> ["1"] И
<контрпризнак> k1 {не имеет} <значение> ["1."] И
<контрпризнак> k1 {не имеет} <значение> ["a"] И
<контрпризнак> k1 {имеет} <индекс> (i + 1) И
ТО
<предложение> s {содержит} <элемент> ["дефиниция"].
```

Множество дефиниций можно определить посредством правила:

```
ЕСЛИ
<предложение> s {имеет} <индекс> I И
<индекс> i {имеет} <значение> [1] И
<предложение> s {содержит} <терм-признак> p1 И
<терм-признак> p1 {имеет} <значение> ['·'] И
<терм-признак> p1 {имеет} <индекс> i И
<предложение> s {содержит} <терм-признак> p2 И
<терм-признак> p2 {имеет} <значение> ["1"] ИЛИ
<терм-признак> p2 {имеет} <значение> ["1."] ИЛИ
<терм-признак> p2 {имеет} <значение> ["a"] И
<терм-признак> p2 {имеет} <индекс> (i + 1)
```

ТО

<предложение> s {содержит} <элементы> ["множество дефиниций"].

В случае реализации данных продукций актуализируется процедура выделения из текста словарной статьи части предложения, содержащей дефиницию или множество дефиниций термина.

Определение синонима. Синонимы рассматриваемого термина обычно следуют за терм-признаком "Син.:" или "Синоним:" (см. табл. 3). Данный способ имеет множество значений терм-признаков $T_C = \{("Син.:", Null), ("Синоним:", Null)\}$. Тогда продукционное правило для определения синонима термина запишется в виде:

ЕСЛИ

<предложение> s	{содержит}	<терм-признак> p_1	И
<терм-признак> p_1	{имеет}	<значение> ["Син.:"]	И
<терм-признак> p_1	{имеет}	<индекс> i	И
<термин> t_1	{имеет}	<индекс> $(i + 1)$	И
<термин> t_2	{имеет}	<значение> [":"]	И
<термин> t_2	{имеет}	<индекс> $(i + 2)$	

ТО

<термин> t_1 {является} <тип> ["синоним"].

Рассмотрим формирование правил для определения отношений на примере отношений "Целое—часть" и "Род—вид".

Определение отношения "Целое—часть". Выявление данного отношения покажем на примере анализа предложения: "Аванс составляет часть общей стоимости договора", взятого из словаря с неявно выраженной структурой словарных статей [5]. В данном предложении необходимо найти конструкцию, соответствующую метаописанию искомого отношения "Целое—часть". Как видно из примера, сигнатура шаблона для распознаваемого объекта имеет вид $x \cdot v \cdot t_{Sxy} \cdot y$, где x — рассматриваемый термин "аванс", v — отношение "составляет", t_{Sxy} — терм-спутник "часть", y — именное субстантивное словосочетание "общей стоимости договора" (иначе термин). В соответствии с данным метаописанием правило для выявления отношения "часть—целое" запишется следующим образом:

ЕСЛИ

<предложение> s	{содержит}	<термин> t_1	И
<термин> t_1	{имеет}	<индекс> i	И
<предложение> s	{содержит}	<глагол> v	И
<глагол> v	{имеет}	<индекс> $(i + 1)$	И
<глагол> v	{является}	<СемОтношение> R	И
<СемОтношение> R	{соответствует}	<ГруппеОтношений> ["ЧастьЦелое"]	И
<предложение> s	{содержит}	<термин> t_2	И
<термин> t_2	{имеет}	<индекс> $(i + 2)$	И
<термин> t_2	{содержит}	<терм-спутник> p_1	И
<терм-спутник> p_1	{имеет}	<значение> ["часть"]	

ТО

<термин> t_1	{является}	<категория> ["Часть"]	И
<термин> t_2	{является}	<категория> ["Целое"]	И
<СемОтношение> R	{является}	<категория> ["Целое Часть"]	

Определение отношения "Род—Вид". Рассмотрим способ нахождения родовидовых отношений на примере предложения: "Существуют агентства следующих типов: торговые, промышленные, банковские, маркетинговые и др.". Заголовочный термин текущей словарной статьи "агентство" является "родом" для терминов "торговые", "промышленные", "банковские", "маркетинговые". Шаблон метаописания, соответствующего данному примеру, имеет вид $v \cdot x \cdot t_{Sxy} \cdot ny$, где v — существуют, x — рассматриваемый термин "агентство", t_{Sxy} — терм-спутник "типов", ny — термины "торговые", "промышленные", "банковские", "маркетинговые". Продукционное правило для данного шаблона запишется в виде:

ЕСЛИ

<предложение> s	{содержит}	<глагол> v	И
<глагол> v	{имеет}	<индекс> i	И
<глагол> v	{является}	<СемОтношение> R	И
<СемОтношение> R	{соответствует}	<ГруппеОтношений> ["РодВид"]	И
<предложение> s	{содержит}	<термин> t_1	И
<термин> t_1	{имеет}	<индекс> $(i + 1)$	И
<предложение> s	{содержит}	<терм-спутник> p_1	И
<терм-спутник> p_1	{имеет}	<значение> ["типов"]	

ТО

<термин> t_1	{является}	<категория> ["Род"]	И
<предложение> s	{содержит}	<элементы> ["Множество видов"]	

Аналогичным образом строятся все остальные правила для извлечения знаний из терминологических словарей с явной и неявной структурами словарных статей.

В связи с разнообразием словарей и отсутствием жестких требований к структуре и содержанию словарных статей естественным является то, что рассмотренные примеры не покрывают все возможные случаи. Полноту базы правил можно определить экспертным методом или посредством вычислительных экспериментов, которые дают результаты значительно точнее. Декларативные методы тем и хороши, что их можно постоянно уточнять по мере выполнения вычислительных экспериментов.

Заключение

В работе рассмотрен способ создания декларативного метода извлечения знаний из терминологического словаря, который включает анализ словарей, разработку шаблонов. Сигнатура шаблонов определяет ситуации, в которых может существовать описываемый объект словарной статьи тезауруса. На основе шаблонов создается метаописание терминологического словаря, позволяющее достаточно просто строить продукционные правила. В конечном итоге сформированная система продукций представляет собой декларативный метод извлечения знаний.

Для апробации метода построены генератор метаописаний, продукционные правила выделения дефиниций и родовидовых отношений для словарей обоих типов. Вычислительные эксперименты показали положительные результаты.

Список литературы

1. **Найханова Л. В.** Структура словарных статей тезауруса // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. С. 154—159.

2. **Залевская А. А.** Введение в психолингвистику. М.: Наука, 1999. С. 114—116.

3. **Осипов Г. С.** От ситуационного управления к прикладной семантике // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 6 (54). С. 3—7.

4. **Найханова Л. В., Хаптахеева Н. Б.** Структура источников знаний для создания тезауруса // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. С. 159—164.

5. **Экономический словарь** / Е. Г. Багудина [и др.]; отв. ред. А. И. Архипов. М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. 624 с.

6. **Ершов А. П., Шанский Н. М., Окунева А. П., Баско Н. В.** Терминологический словарь по основам информатики и вычислительной технике. М.: Просвещение, 1991. 159 с.

УДК 004.912

М. В. Бочков, д-р техн. наук, проф.,

А. Ю. Бородащенко,

А. Л. Салбиев,

Академия ФСО России, г. Орел

Алгоритм оценки массива текстов на семантическое сходство с эталоном

Предложен алгоритм оценки меры близости пары текстов по их смысловому содержанию и структуре, позволяющий повысить качество информационного поиска в сети Интернет, в ведомственных (корпоративных) сетях и базах данных, содержащих полнотекстовую информацию. Алгоритм реализует функцию поиска близких по содержанию документов по отношению к текстовым фрагментам, наиболее релевантным пользовательским потребностям. Для оценки эффективности предлагаемого алгоритма предложен оригинальный подход сопоставления результатов поиска.

Ключевые слова: текст, обработка текста, семантическая сеть, граф, семантическое сходство.

В настоящее время информационный ресурс сети Интернет составляет свыше десятка миллиардов документов (web-страниц), к которым возможен свободный доступ любого пользователя. Для того чтобы найти необходимую информацию в этой крупнейшей распределенной базе данных, необходимо использовать мощные информационно-поисковые системы (ИПС). Такие системы существуют и конкурируют друг с другом на современном рынке информационных технологий.

Основными зарубежными ИПС в сети Интернет являются поисковые машины Google (<http://www.google.ru>), Yahoo! (<http://www.yahoo.com>), Ask (<http://www.ask.com>), Alltheweb (<http://alltheweb.com>), Altavista (<http://www.altavista.com>), Lycos (<http://www.lycos.com>). Среди российских по-

исковых серверов заслуживают внимания Яндекс (<http://www.yandex.ru>), Рамблер (<http://www.rambler.ru>) и Апорт (<http://www.aport.ru>) [1].

Различные ИПС имеют собственные языки запросов, позволяющие в той или иной мере описывать потребности пользователей. Процесс поиска информации в сети Интернет в целом всегда выглядит одинаково:

- составляется поисковый запрос, соответствующий необходимой тематике;
- анализируется отклик ИПС и выбираются ссылки на документы, соответствующие информационным потребностям пользователя, по его мнению;
- анализируются первоисточники и отбирается нужная информация.

Однако, как правило, на логично сформулированный запрос к ИПС выдается достаточно много (до нескольких сотен) документов, имеющих "слабое" отношение к информационным потребностям пользователя. Наиболее образно данный факт охарактеризовал Гари Флэйк [2], один из семи ведущих инженеров Microsoft: "Если бы web-поиск был совершенен, он бы выдавал ответ на каждый запрос, и это происходило бы так, будто на вопрос отвечает умнейший человек в мире, у которого есть под рукой вся справочная информация, и все это выполняется меньше чем за мгновение... Поиск будущего можно сравнить с армией из 1000 экспертов, которые знают ваши вкусы и способны сканировать миллионы документов за долю секунды. Поиск будет моделировать человеческий мозг".

Сейчас поисковые технологии находятся только в начале своего развития. Они предоставляют лишь визуальный интерфейс для анализа выделенной ими подборки документов.

Одним из способов повышения качества информационного поиска в полнотекстовых базах данных является функция "поиска подобных документов". Если в результате поиска по запросу найдено избыточное число документов, а при просмотре первых

страниц результатов поиска найдено несколько пертинентных документов, то возможно найти дополнительные документы, сходные с найденными по содержанию, не затрачивая усилий на анализ и составление запроса.

Многие ИПС реализовали опцию "найти подобное", "find similar", "like this". Однако и этот режим не всегда ведет к удовлетворительным результатам. При этом критерий выбора "подобных" документов, как правило, остается неизвестен.

Таким образом, в качестве одной из очевидных тенденций в развитии ИПС можно выделить внедрение методов фильтрации поисковых запросов на основе оценки семантического сходства с эталоном. В статье рассматривается один из возможных подходов к семантической фильтрации, формализованный в виде алгоритма оценки массива текстов на семантическое сходство с эталоном, который может быть применен при поиске информации в сети Интернет, поиске информации в ведомственных (корпоративных) сетях и других базах данных, содержащих полнотекстовую информацию.

Задача оценки массива текстов может быть разделена на два этапа.

На первом этапе осуществляется формализация текстов, заключающаяся в определении ключевых тем с весами для каждого обрабатываемого текста.

На втором этапе для двух текстов определяются общие ключевые темы с весами, представляющие собой пересечение результатов первого этапа. Рассчитываются коэффициенты близости и принимается решение о семантическом сходстве текстов.

Обобщенная функциональная схема оценки массива текстов на семантическое сходство с эталоном представлена на рис. 1.

Анализ существующих процедур обработки текстовой информации [1, 3], которые могут быть использованы при решении задачи фильтрации, а также оригинальных авторских разработок, позволил сформировать соответствующий структурной схеме (рис. 1) алгоритм определения семантического сходства с эталоном (рис. 2).

В представленном алгоритме сравнение двух текстов осуществляется сравнением их семантических сетей. Семантическая сеть является образом текста, она представляет собой набор взвешенных ключевых слов и взвешенных связей между ними — тематического веса.

Максимальное значение тематического веса (равное 100) соответствует ключевой (важнейшей) теме документа. Близкое к нулю значение веса темы показывает, что она лишь вскользь упомянута в тексте и в нем мало сведений, относящихся к данной теме.

Связи между парами тем, в свою очередь, также имеют характеристики — веса связей (от 0 до 100). Большое значение веса связи от одной темы к другой, близкое к 100, указы-

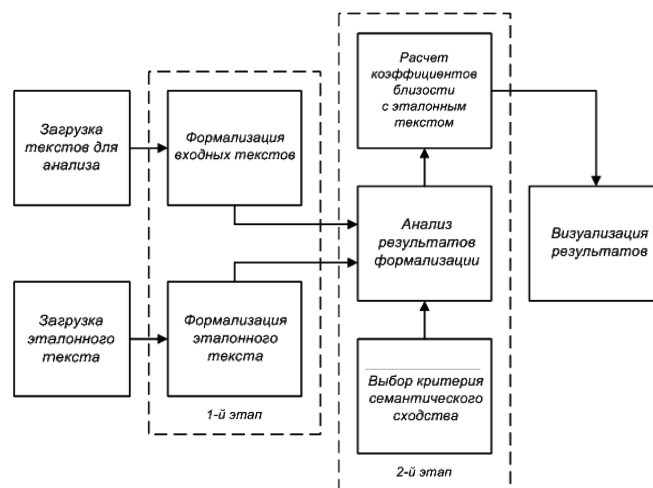


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема оценки массива текстов на семантическое сходство с эталоном

вает на то, что подавляющая часть информации в тексте, касающаяся первой, касается в то же время и второй темы — первая тема почти всегда излагается в контексте второй. Малое значение веса отражает тот факт, что первая тема слабо связана со второй (излагается независимо от нее). Связь между парой тем сети всегда двусторонняя, однако связь



Рис. 2. Алгоритм определения степени семантического сходства текста с эталоном

от первой темы ко второй не всегда имеет тот же самый вес, что и обратная — от второй к первой. Такое различие в весах может указывать на то, что одна тема является подтемой другой.

Таким образом, семантическая сеть текста может быть представлена взвешенным графом, узлы которого — ключевые слова, а дуги — связи между ними. Можно считать, что такой граф будет полносвязным, при этом веса некоторых дуг будут нулевыми.

На вход процедуры "Формализация текстов" подается текст с предварительно заданными параметрами анализа. Устанавливаются следующие параметры построения семантической сети:

- 1) минимальный вес темы при добавлении в сеть (только темы, имеющие вес в документе не меньше заданного значения, будут включаться в семантическую сеть);
- 2) минимальная частота встречаемости связи в тексте при добавлении к сети;
- 3) максимальное допустимое число главных тем документа с весом не менее заданного параметром 1), которые включаются в семантическую сеть;
- 4) максимальное допустимое число слов в названии темы;
- 5) задание допустимых семантических типов для тем документа, помещаемых в семантическую сеть (юридические лица, физические лица, географические объекты и т. д.).

На выходе процедуры "Формализация текстов" получается массив ключевых слов этого текста U^i , массив их весов V^i и матрица весов связей между любыми двумя ключевыми словами M^i , где i — индекс текста. Все веса нормированы от 1 до 100. Кроме того, возможно визуальное представление текста в виде семантической сети. Для оценки семантического сходства текстов эвристически введен комплексный коэффициент K , включающий составляющие k_1, k_2, k_3 .

Первый коэффициент k_1 показывает долю общих ключевых слов и рассчитывается как отношение суммы весов ключевых слов, общих для этих текстов, к сумме весов всех ключевых слов обоих текстов [3]. Кроме того, если между ключевыми словами действует синонимическая связь, то сумма весов общих ключевых слов увеличивается на половину суммы весов ключевых слов, обладающих синонимической связью:

$$k_1 = \frac{\sum_{i:=1}^k (V^1[i]) + \sum_{j:=1}^k (V^2[j])}{\sum_{x:=1}^n (V^1[x]) + \sum_{y:=1}^m (V^2[y])}, \quad (1)$$

где

$$\bigcup_{x=1}^n U^1[x] = U^1;$$

$$\bigcup_{y=1}^m U^2[y] = U^2;$$

$$\bigcup_{i=1}^k U^1[i] = \bigcup_{j=1}^k U^2[j] = U^1 \cap U^2.$$

Этот коэффициент является наиболее значащим, так как он показывает смысловую близость и нормируется от 0 до 1.

Далее создается n -мерное пространство ($n = |U^1 \cap U^2|$) и измеряется евклидово расстояние между двумя векторами этого пространства, каждая координата которого отображает вес соответствующего ключевого слова. Коэффициент k_2 — нормированное от 0 до 1 расстояние между данными векторами ($100\sqrt{n}$ — максимально возможное расстояние):

$$k_2 = \frac{\sqrt{\sum_{i:=1}^n (V^1[i] - V^2[i])^2}}{100\sqrt{n}}. \quad (2)$$

Таблица 1

Шкала степени сходства текстов

Количественная оценка степени сходства текстов, баллы	Качественная оценка степени сходства текстов
10	Полное сходство
9	Очень сильное сходство
8	Значительное сходство
7	Существенное сходство
6	Умеренное сходство
5	Промежуточное значение
4	Умеренное различие
3	Существенное различие
2	Значительное различие
1	Очень сильное различие
0	Полное различие

Таблица 2

Результаты сравнения текстов экспертами

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	6	3	5	3	4	2	2	1	3
2	6	10	2	4	5	2	2	3	1	2
3	3	2	10	4	2	2	1	1	1	1
4	5	4	4	10	5	5	3	2	1	3
5	3	5	2	5	10	4	3	3	1	2
6	4	2	2	5	4	10	3	8	1	2
7	2	2	1	3	3	3	10	2	3	2
8	2	3	1	2	3	8	2	10	1	2
9	1	1	1	1	1	1	3	1	10	1
10	3	2	1	3	2	2	2	2	1	10

Таблица 3

Результаты сравнения текстов программой

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	3	1	3	3	3	2	3	1	2
2	3	10	1	2	2	2	3	2	1	2
3	1	1	10	2	2	2	2	1	0	1
4	3	2	2	10	2	3	2	2	1	2
5	3	2	2	2	10	3	2	2	2	2
6	3	2	2	3	3	10	3	7	1	3
7	2	3	2	2	2	3	10	2	1	3
8	3	2	1	2	2	7	2	10	1	2
9	1	1	0	1	2	1	1	1	10	0
10	2	2	1	2	2	3	3	2	0	10

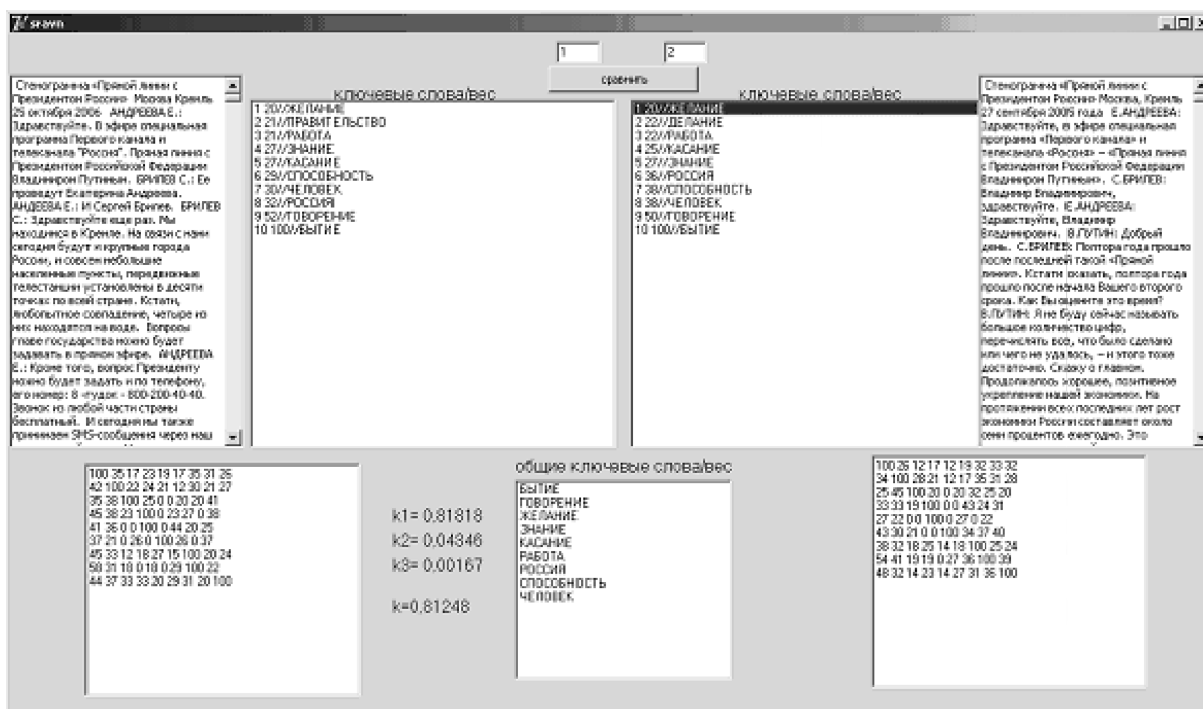


Рис. 3. Экранная форма подробного сравнения заданной пары текстов

Аналогично высчитывается коэффициент k_3 , только в n^2 -мерном пространстве, где координата вектора будет отображать вес связи между двумя соответствующими ключевыми словами ($100n$ — максимально возможное расстояние):

$$k_3 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (M^1[i, j] - M^2[i, j])^2}}{100n}. \quad (3)$$

Коэффициенты k_2 и k_3 показывают структурную удаленность этих текстов.

Комплексный коэффициент K по определению не может быть численно больше коэффициента k_1 , так как похожесть структуры не может добавить смысловой похожести двух текстов. Поэтому в качестве комплексного коэффициента выбирается

$$K = k_1 - k_1^2 \frac{k_2 + k_3}{2}. \quad (4)$$

Среднеарифметическое 2-го и 3-го коэффициентов доумножается на k_1^2 для снижения роли этих коэффициентов.

Практическая реализуемость и эффективность описанного алгоритма была проверена на макете программы семантической фильтрации.

Был подготовлен экспериментальный массив текстов для анализа. Предварительно данные тексты были предложены экспертам в предметной области для оценки семантического сходства по шкале, представленной в табл. 1.

Результаты оценки текстов экспертами приведены в табл. 2, где в первой строке и первом

столбце приведены номера текстов с 1 по 10. На пересечении соответствующего столбца и строки представлен результат сравнения двух текстов экспертами в баллах.

Выбранные тексты были проанализированы на контрольном примере с использованием разработанного макета. Результаты работы программы представлены в табл. 3.

В ходе обработки данных результатов математической статистики получилось, что относительная средняя ошибка составляет 7,8 %. Это означает, что при сравнении каждой пары текстов в среднем расхождение результата процедуры формализации текстов и мнения экспертов составляет менее одного балла (0,78).

Экранные формы пользовательского интерфейса прототипа программного модуля фильтрации текстовой информации представлены на рис. 3 и рис. 4, 5 (см. третью сторону обложки).

Таким образом, в статье предложен алгоритм оценки массива текстов на семантическое сходство с эталоном, получивший практическую проверку на программном макете.

Список литературы

1. Ландэ Д. В. Поиск знаний в Internet. Сер. "Профессиональная работа": Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. 272 с.
2. Компьютерные вести On-Line [Электронный ресурс] / Фронтир поисковых технологий. Электрон. дан. М.: Новые технологии, 2005. Режим доступа к журн.: <http://www.kv.by/index2005363401.htm>, свободный.
3. Бородин Л. И. Математические методы и компьютер в задачах атрибуции текстов. Сер. "Профессиональная работа" / Под ред. Л. В. Милова. М.: Прогресс, 1994.

И. В. Гермашев, канд. техн. наук, доц.,
А. Ю. Силина, аспирант,
В. Д. Васильева, канд. техн. наук, доц.,
В. Е. Дербишер, д-р хим. наук, проф.,
 Волгоградский государственный
 технический университет

Обработка нечетких данных для оценки активности научной деятельности

Предложена методика количественной оценки научной деятельности исследователей путем расчета обобщенного показателя публикационной активности. Приведен алгоритм расчета данного показателя. Рассмотрены преимущества и возможное практическое применение методики на примере анализа публикаций работника вуза.

Ключевые слова: оценка научной деятельности, информация, анализ публикаций, научная активность.

Проблема поиска объективных и достоверных (или приближенных к ним) критериев оценки активности научной деятельности работников организаций, связанных с научными исследованиями и их публикацией, продолжает оставаться актуальной, а в последнее время и возрастает. Это связано в том числе и с расплывчатостью, наличием определенной доли нечеткости данных, характеризующих данную активность. В настоящее время проблемы обработки нечеткой информации — один из активно развивающихся разделов математики [1].

Большинство применяемых в настоящее время показателей оценки научной активности основаны на изучении статистики публикаций и цитирования. Для этих целей за рубежом широко используется база данных "Web of Science", созданная Институтом научной информации (ISI) в Филадельфии [2]. Эта база данных охватывает более 3500 лучших научных журналов и дает подробную информацию о мировой научной литературе в области естественных наук. Следует отметить, что в ней присутствуют 70 отечественных научных журналов. При этом доля русскоязычных журналов составляет всего около 1 %, англоязычных журналов — 40–60 %, что, очевидно, не отражает реальную картину информационной основы российской науки и состояние публикационной активности отечественных исследователей.

Предлагаемая в настоящей работе методика оценки активности научной деятельности также основана на анализе публикаций научного работ-

ника и расчете обобщенного показателя его публикационной активности. Для этой цели все издания, в которых публикуется научно-техническая информация, применительно к российской действительности можно объединить в следующие группы:

- отечественные академические и ведомственные периодические журналы, зарубежные издания, состоящие в перечне ВАК;
- зарубежные периодические издания, не состоящие в перечне ВАК;
- отечественные научно-технические журналы и периодические издания, не состоящие в перечне ВАК;
- сборники научных трудов;
- тезисы докладов на конференциях;
- другие.

Методика оценки публикационной активности

Предлагаемая методика расчета обобщенного показателя публикационной активности состоит в следующем. Опубликованная научным работником информация распределяется по приведенным группам изданий. В начало декартовой системы координат помещаются начала векторов a_i , соответствующих группам изданий, в которых публиковались статьи за отчетный период ($i = 1, 2, \dots, n$) (рис. 1). Длина каждого вектора равна числу публикаций в соответствующей группе (m_i). Причем для исключения нулевых точек предлагается каждому вектору присвоить единицу перед началом расчета. Углы между векторами равны, а векторы располагают в порядке возрастания значимости соответствующих изданий (против часовой стрелки). Концы векторов соединяют отрезками, в результате получается n -угольник (в нашем случае $n = 6$). Область, ограниченную этим n -угольником, обозначим как G .

Площадь S построенного многоугольника G оценивает суммарное число публикаций и может являться одним из показателей публикационной активности автора. Пусть $a_i = (x_i, y_i)$, $m_i = |a_i|$,

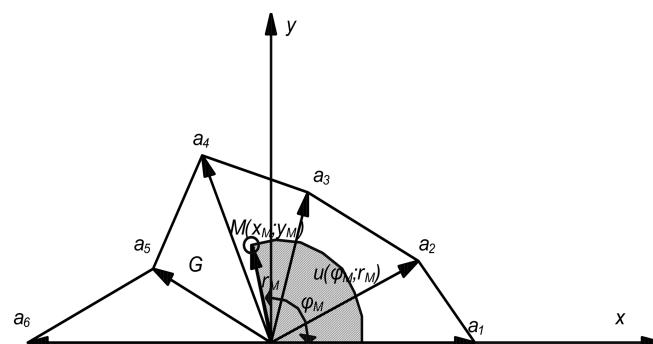


Рис. 1. Графическая модель показателя публикационной активности

$i = 1, \dots, n - 1$. Тогда данный показатель можно рассчитать, используя следующие соотношения:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} S_i,$$

$$S_i = \frac{1}{2} \| \mathbf{a}_i \| \mathbf{a}_{i+1} \sin \left(\frac{\pi}{n-1} \right) = \frac{1}{2} m_i m_{i+1} \sin \left(\frac{\pi}{n-1} \right),$$

где S_i — площадь i -го треугольника, образованного векторами $\mathbf{a}_i$ и $\mathbf{a}_{i+1}$.

Относительным показателем качества опубликованного научного материала может служить площадь сектора U (см. рис. 1), образованного вектором $\mathbf{r}_M$, направленным из начала координат к точке центра тяжести $M(x_M, y_M)$ многоугольника G , и углом φ_M , образованным данным вектором при вращении в направлении увеличения значимости публикаций, в данном случае — против часовой стрелки. Для этого проведем соответствующие преобразования декартовой системы координат в цилиндрическую и рассмотрим U как функцию $U = u(\mathbf{r}_M, \varphi_M)$, где $(\mathbf{r}_M, \varphi_M, 0)$ — координаты центра тяжести области G в цилиндрической системе координат. При этом полагаем, что область G лежит в плоскости $z = 0$, а точкой начала координат по-прежнему является точка начала векторов $\mathbf{a}_i$.

Определяем координаты центра тяжести $M(x_M, y_M)$ построенного многоугольника:

$$x_M = \frac{\sum_{i=1}^n S_i x_i^t}{S}; \quad y_M = \frac{\sum_{i=1}^n S_i y_i^t}{S},$$

где x_i^t, y_i^t — координаты центра тяжести i -го треугольника, образованного векторами $\mathbf{a}_i$ и $\mathbf{a}_{i+1}$ (рис. 2).

Известно, что центром тяжести треугольника является точка пересечения его медиан. Его координаты определяются путем построения уравнения медиан и решения полученной системы уравнений.

После соответствующих преобразований [3] получаем

$$x_M = \frac{\sum_{i=1}^n m_i m_{i+1} x_i^t}{\sum_{i=1}^n m_i m_{i+1}}; \quad y_M = \frac{\sum_{i=1}^n m_i m_{i+1} y_i^t}{\sum_{i=1}^n m_i m_{i+1}}.$$

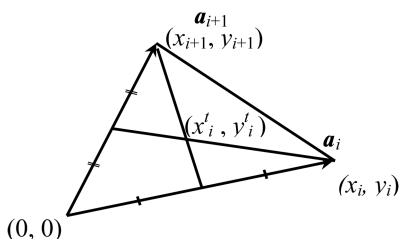


Рис. 2. Центр тяжести i -го треугольника

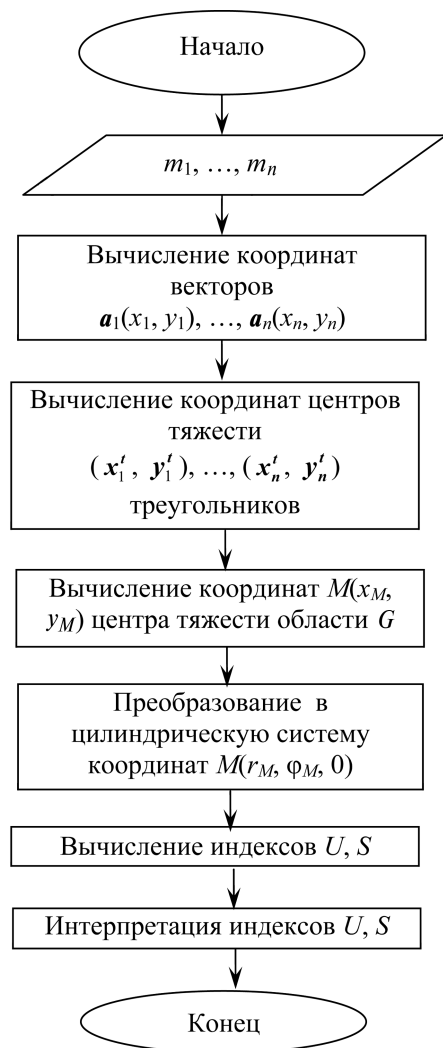


Рис. 3. Алгоритм расчета обобщенного показателя публикационной активности

Рассчитанные координаты центра тяжести можно использовать для выявления ближайших зон (кластеров) публикаций, представляющих собой фронт публикационной активности деятельности автора.

Далее рассчитываются численные значения вектора $\mathbf{r}_M$, угла φ_M и показателя U :

$$\mathbf{r}_M = \sqrt{x_G^2 + y_G^2}; \quad \varphi_M = \arccos \frac{x_G}{\sqrt{x_G^2 + y_G^2}},$$

$$U = u(\mathbf{r}_M, \varphi_M) = \frac{1}{2} r_M^2 \varphi_M.$$

В целом для оценки публикационной активности авторов предлагается применять систему полученных показателей:

$$\begin{cases} S = \sum_{i=1}^{n-1} S_i \\ U = \frac{1}{2} r_M^2 \varphi_M \end{cases}$$

Алгоритм расчета (применительно к оценке публикационной активности работников вуза) представлен на рис. 3.

Практическое применение методики

Предложенная система показателей позволяет построить классификационное поле публикационной активности авторов с зонами очень высокой, высокой, средней и низкой публикационной активности, принятое для данной категории авторов в конкретной организации. Подобная классификация может использоваться при проведении сравнительного анализа публикационной деятельности различных научных работников. Для обеспечения сравнимости результатов оценки, например преподавателей вуза, возможно использование следующих квалификационных категорий: деканы, заведующие кафедрами, профессора, доценты, старшие преподаватели, ассистенты. В качестве примера возможные классификационные зоны публикационной активности доцента вуза приведены в табл. 1.

Пример расчета обобщенного показателя публикационной активности в произвольный временной период для двух квалификационных категорий вуза приведен в табл. 2.

Кроме публикационной оценки, предлагаемую методику можно использовать для определения квалификационного потенциала и общественного признания при расчете подготовленных автором учебников, учебных пособий и монографий, а также авторских свидетельств, патентов и лицензий. Библиотеки при этом способны брать на себя функции сбора статистического материала из доступных баз данных для дальнейшего анализа информационных потоков по различным научным проблемам. Некоторые электронные библиотеки по собственным методикам уже делают это [4].

Таким образом, использование предложенной методики позволит более объективным и наглядным образом отражать публикационную и в целом научную деятельность ученых. Создание автоматизированной информационной системы оценки качества научно-исследовательской дея-

Таблица 1

Классификационные зоны публикационной активности

U	S	
	1—80	Более 80
1—10 Более 10	Низкая Высокая	Средняя Очень высокая

Таблица 2

Пример расчета обобщенного показателя публикационной активности

Наименование показателей	Численное значение показателей для	
	ассистента	доцента
Группы изданий, в которых публиковались работы:		
• отечественные академические и ведомственные периодические журналы, зарубежные издания, состоящие в перечне ВАК	1	5
• зарубежные периодические издания, не состоящие в перечне ВАК	1	3
• отечественные научно-технические журналы и периодические издания, не состоящие в перечне ВАК	3	7
• сборники научных трудов	5	10
• тезисы докладов на конференциях	5	12
• другие	—	6
S	19,4	85,8
U	4,9	14,6
Классификационная зона публикационной активности	Средняя	Высокая

тельности позволит оперативно обрабатывать данные и определять расчетные показатели.

Список литературы

1. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MatLab и fuzzyTech. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
2. Маршак И. В. Система цитирования научной литературы как средство слежения за развитием науки. М.: Наука, 1988. 138 с.
3. Яблонский А. А., Никифорова В. М. Курс теоретической механики. СПб.: Лань, 1998. 768 с.
4. Электронная библиотека [Электронный ресурс]. — [2008]. — Режим доступа: <http://elibrary.ru>

НОВОСТИ ОТ IBM

Корпорация IBM (NYSE: IBM) и ее партнеры по совместным разработкам объявили о получении элементов памяти типа SRAM с технологической нормой 22 нм, которые были изготовлены на 300-миллиметровой подложке.

Размер ячеек SRAM определяет размеры более сложных устройств, таких как микропроцессоры.

Технологическая норма 22 нм на два поколения опережает современный уровень полупроводникового производства. Следующее поколение чипов будет основано на технологической норме 32 нм. В этом секторе сегодня доминирует корпорация IBM.

УДК 519.6

О. В. Мандрикова¹,

канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,

Ю. А. Полозов², аспирант

¹ Институт космофизических исследований
и распространения радиоволн ДВО РАН

² Камчатский государственный
технический университет

Автоматизированный способ обработки сигналов со сложной структурой

Рассматривается решение задачи автоматизированной обработки сигналов со сложной структурой. Предложен способ, базирующийся на совместном применении конструкции вейвлет-преобразования и нейронных сетей, позволяющий повысить разрешающую способность анализа данных при использовании нейросетевых технологий, улучшить качество работы сети и сократить время ее обучения. Также рассмотрена система прогнозирования данных критической частоты, в которой реализован этот способ.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, нейронные сети, критическая частота, цифровая обработка сигналов.

Постановка задачи

В последние несколько лет наблюдается взрыв интереса к нейронным сетям (НС). Они вошли в практику везде, где нужно решать трудно формализуемые задачи, такие как распознавание образов, кластеризация, прогнозирование, моделирование сложных систем и др. [1–3]. Успех НС определяется несколькими причинами. НС являются исключительно мощным методом моделирования, позволяющим воспроизводить сложные нелинейные зависимости. Преимущество нейросетевого представления аппроксимируемой функции (сигнала) также заключается в большой гибкости базовых функций и их способности к адаптации. Это позволяет синтезировать алгоритм для каждой конкретной математической задачи. Достоинством НС также является их способность к самообучению. НС учатся на примерах. Важным моментом здесь является способ отбора и подготовки данных для обучения. Представительность

имеющейся выборки данных, их зашумленность, а также способ получения обучающих векторов из общего массива имеющихся данных во многом определяют успех решения задачи на основе НС. Входные данные характеризуют входной образ, и при формировании пространства признаков часто возникают следующие проблемы.

Наличие неинформативных данных: каждый дополнительный признак, характеризующий входной образ, требует увеличения размерности пространства признаков и числа входных нейронов, что, в свою очередь, увеличивает время, затрачиваемое на обучение сети, влечет усложнение структуры сети, но не всегда улучшает качество ее работы. Время, качество обучения и функционирования сети можно оптимизировать, исключив те данные, в которых содержится незначительная информация, т. е. неинформативные данные.

Наличие избыточных данных: одна и та же информация в большей или меньшей степени, как правило, содержится в разных данных. Поэтому целесообразно в качестве входов брать лишь часть из нескольких коррелированных данных.

Перечисленные проблемы решаются просто, если есть возможность использовать знания из предметной области и стандартные статистические критерии [2, 3]. В том случае, когда моделируемые сигналы имеют сложную структуру, являются нестационарными и содержат в себе шумовые компоненты, решение перечисленных проблем усложняется. Разработчику необходимо выполнить предобработку входных данных в целях уменьшения влияния шума. В теории НС используют известный подход к подавлению шума во входных сигналах, который основан на естественном предположении, что полезные составляющие сигналов более скоррелированы, чем соответствующие возмущения [2]. В этом случае, сглаживая сигнал и выделяя его регулярную компоненту, уменьшаем относительную долю шума.

Кроме подавления шумов, линейные преобразования сигналов используют для выделения характерных локальных особенностей в данных. Если предметом исследований являются сигналы, которые содержат всплески, пики, ступенеобразные особенности различной амплитуды и частоты, которые несут полезную информацию, используемые способы отбора и предварительной обработки входных данных не всегда реализуемы. Примерами могут служить сигналы регистрации геофизических и геохимических параметров, под-

лежащие обработке при решении широкого круга научных и прикладных задач [4].

В результате обработки наблюдаемого сигнала, несущего информацию об исследуемом процессе или явлении, должна быть восстановлена истинная форма полезного сигнала f , искаженного шумом. Естественным способом решения этой проблемы является применение методов вейвлет-преобразования, получивших бурное развитие в последние годы и позволивших разработать нелинейные схемы аппроксимации, являющиеся основой при выполнении многих алгоритмов обработки сигналов [4–6].

Вейвлеты обладают мощными средствами выявления тонких локальных особенностей временных рядов и превосходно их визуализируют. Они включают широкий спектр базисных функций различной формы, в том числе ступенеобразной, пикообразной и др. Это свойство дает возможность использовать предложенную конструкцию для большого числа сигналов с различной структурой. Также данный метод обеспечивает точную реконструкцию дискретного сигнала при его прямом и обратном преобразовании, что является огромным преимуществом вейвлет-технологии. Эти свойства вейвлетов в данном случае позволят, во-первых, идентифицировать информативные компоненты сложного процесса для формирования обучающего множества НС, во-вторых, обеспечат исключение потери информации в отличие от традиционных методов предобработки данных.

Описание метода

Дискретный сигнал представляет зависимость случайной величины y от контролируемой переменной t . Величина y , как правило, состоит из двух составляющих — истинного значения измеряемой величины f и ошибки измерений e :

$$y_k(t_k) = f_k(t_k) + e_k(t_k), \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Истинное значение величины f зачастую невозможно измерить напрямую, измеряемым является лишь набор функций от некоторой случайной величины x_k : $f_k = f(x_k)$.

Используя конструкцию вейвлет-преобразования, сигнал единственным образом представляется в виде суммы разномасштабных компонент:

$$\forall f \in L^2(R) \exists! f(t) = \dots + v_{-1}(t) + v_0(t) + v_1(t) + \dots,$$

где $v_j \in W_j$, $j \in Z$, v_j — компонента f .

Базисные вейвлет-функции Ψ имеют два параметра — параметр растяжения j и параметр сдвига по времени k : $\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - k)$. Своими сдвигами и растяжениями они порождают подпространства пространства $L^2(R)$

$$L^2(R) = \dots + W_{-1} + W_0 + W_1 + \dots, \\ W_j := \text{clos}_{L^2(R)} (\Psi_{j,k}; k \in Z) \quad (1)$$

Каждая компонента разложения v_j дает локализованную частотно-временную информацию об f в определенном частотном диапазоне. Важным преимуществом метода является то, что составляющие сложного сигнала хранятся в различных подпространствах. Это значительно облегчает процедуру идентификации составляющих сложного сигнала и их дальнейшую обработку. Для обработки дискретных данных используют конструкцию кратномасштабного анализа (КМА) [6]. Используя разложение $L^2(R)$ в выражении (1), получают последовательность вложенных друг в друга замкнутых подпространств V_j , $j \in Z$, определенных формулой

$$V_j = \dots + W_{j-2} + W_{j-1}.$$

Предполагая, что сигнал f_j известен с разрешением 1 (т. е. $j = 0$), базисным пространством для него будет $V_0 = \text{clos}_{L^2(R)} (\phi(2^0 t - k)), k \in Z$. В результате применения процедуры КМА исходный сигнал f_0 будет иметь единственное представление в виде конечной суммы компонент:

$$f_0(t) = g_{-1}(t) + g_{-2}(t) + \dots + g_{-m}(t) + f_{-m}(t).$$

Каждая компонента g_i единственным образом определяется последовательностями коэффициентов $\bar{d}^i$, а компонента f_j определяется последовательностью коэффициентов $\bar{c}^j$, где $c_{j,k} = \langle f, \phi_{j,k} \rangle$, $d_{j,k} = \langle f, \Psi_{j,k} \rangle$. Коэффициенты $\bar{d}^j$ являются детализирующими компонентами сигнала. Коэффициенты $\bar{c}^j$ соответствуют сглаженной компоненте сигнала.

Амплитуды скалярного произведения $|\langle f, \phi_{j,k} \rangle|$ и $|\langle f, \Psi_{j,k} \rangle|$ связаны со структурой сигнала. В вейвлет-теории доказано, что амплитуды скалярного произведения $|\langle f, \Psi_{j,k} \rangle|$ локально возрастают там, где сигнал имеет особенности [5]. Анализ компонент сигнала и процедуры выделения информативных и шумовых составляющих в этом случае могут быть выполнены на основе анализа амплитуд вейвлет-коэффициентов определенных масштабов уровней с использованием разработанных в этой области вейвлет-алгоритмов [4, 5].

Далее, выбирая апостериори m векторов $\Psi_{j,k}$, зависящих от свойств функции f , мы получаем приближение f m векторами, индексы которых принадлежат некоторому множеству I :

$$f(t) = \sum_{j,k \in I} d_{j,k} \Psi_{j,k} + f_{-m}(t). \quad (2)$$

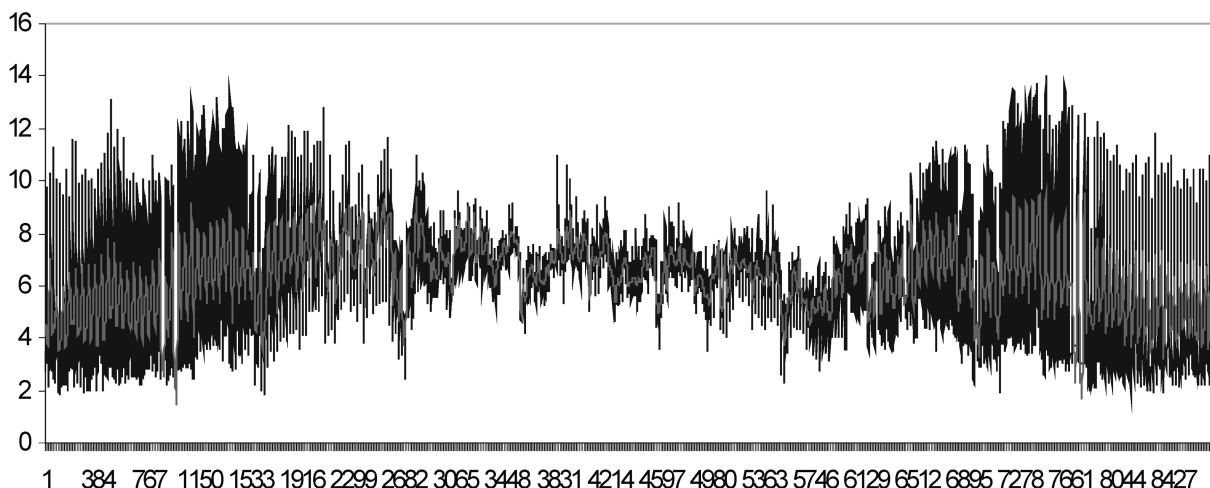


Рис. 1. Сигнал критической частоты f_0F2 за 1970 г. (показан на рисунке черным цветом); аппроксимирующая компонента 4-го уровня сигнала критической частоты f_0F2 за 1970 г. (показана на рисунке серым цветом)

Соотношение (2) определяет пространство признаков $X = I \cup V_m$ для обучения НС.

Формальная модель сигнала в этом случае имеет вид

$$f(t) = \varphi \sum_i w_i \sum_{j,k \in X} u_{j,k} p^{j,k}(t),$$

где φ — функция активации НС; w_i — весовые коэффициенты НС; $u_{j,k} = \{d_{j,k}, c_{j,k}\}$, $p^{j,k} = \{\Psi^{j,k}, \phi^{j,k}\}$, $\Psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \Psi(2^j t - k)$ — базисный вейвлет; $\Psi^{j,k}$ — соответствующий ему двойственный вейвлет; ϕ — масштабирующая функция; $c_{l,k}$ — аппроксимирующие коэффициенты вейвлет-преобразования; $d_{j,s}$ — детализирующие коэффициенты вейвлет-преобразования.

Конструкция вейвлет-преобразования является гибким инструментом и позволяет адаптировать аппроксимирующую функцию и под сигнал, и под решаемую задачу. Модель (3) построена на предположении, что полезная информация о сигнале находится в низкочастотной его составляющей. На основе применения конструкции вейвлет-пакетов [5, 6], позволяющей идентифицировать различные типы частотно-временных структур, полученная модель может быть легко модифицирована.

Предложенный метод предобработки данных позволяет реализовать процедуру выделения информативных компонент сигнала и удаления шумовых составляющих для сигналов со сложной структурой, включающей локальные особенности в виде пиков, ступенеобразные и др. Применение данной процедуры, в свою очередь, значительно уменьшает размерность пространства признаков для обучения НС, что уменьшает время ее обучения, упрощает ее структуру и улучшает качество функционирования.

Система прогнозирования данных критической частоты f_0F2

На основе предложенной методики была разработана система прогнозирования сигналов критической частоты f_0F2 ионосферного слоя $F2$, полученных автоматической ионосферной станцией (АИС), расположенной в п. Паратунка ($\varphi = 52,97^\circ$ с. ш., $\lambda = 158,25^\circ$ в. д., п-ов Камчатка). При записи в файлы заносились часовые данные критической частоты f_0F2 . Для экспериментов были взяты результаты измерений за период 1968—2006 гг. Сложная структура сигналов f_0F2 затрудняет процесс их обработки в целях исследования динамических свойств и выделения особенностей. Например, в сейсмоактивных регионах может наблюдаться аномальное поведение распределения параметров ионосферы, носящее локальный характер накануне сильных землетрясений. Сигнал критической частоты (рис. 1) является нестационарным, включает в себя локальные особенности, которые соответствуют различным переходным периодам, имеет сезонную и суточную компоненты [4].

При построении системы предобработка данных f_0F2 была выполнена на основе конструкции КМА. В качестве базисных вейвлет-функций использовались ортогональные вейвлеты Добеши 3-го порядка, поскольку они хорошо согласуются по форме с сигналом и имеют компактный носитель. В соответствии с описанной выше методикой были выделены информативные компоненты сигнала и сформировано обучающее множество

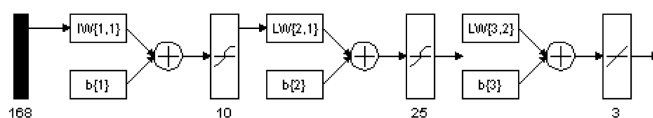


Рис. 2. Структура НС

для НС. Целью построения системы было выявление возможных аномальных эффектов в сигнале накануне периодов повышения сейсмической активности на Камчатке. Анализ компонент вейвлет-разложения был построен на основе сопоставления выявляемых локальных особенностей сигнала с данными каталога сейсмических явлений. Выявление локальных особенностей компонент и их классификация выполнялась на основе вейвлет-алгоритмов выделения особенностей [4, 6].

Результаты обработки показали, что информативными, применительно к решаемой задаче, являются сглаженные компоненты 4-го масштабного уровня. На основе этого из сигнала были выделены аппроксимирующие компоненты 4-го масштабного уровня дискретного вейвлет-разложения. Далее было проведено вейвлет-восстановление этих компонент без учета деталей разложения (они предполагались нулевыми), это позволило восстановить исходную размерность сигнала. На рис. 1 черным цветом показан исходный сигнал, серым цветом показана восстановленная аппроксимирующая компонента 4-го масштабного уровня.

На втором этапе разработки системы была определена структура и параметры НС. Была построена трехслойная сеть прямой передачи сигнала с двумя сигмоидальными и одним линейным слоями. С учетом сезонных особенностей ионосферных данных обучение сети проводилось отдельно для каждого сезона. На рис. 2 показана структура НС. На вход сети поступает сигнал из 168 отсчетов, что соответствует периоду времени, равному одной неделе, и позволяет выполнить прогноз трех значений с допустимой ошибкой. Для проверки работы сети использовались итоговые статистики (отношение стандартного отклонения ошибки прогноза к стандартному отклонению обучающих данных ниже 0,1).

Данные сейсмического каталога п-ова Камчатка

Год	Дата	Энергия землетрясений
1973	28 февраля	Произошло три землетрясения с энергией $E = 15,5; 13; 13,4$
1984	5 февраля	$E = 12,4$
1984	6 февраля	$E = 12,5$
1988	11 января	$E = 13,3$
1988	29 февраля	Произошло четыре землетрясения с энергией $E = 14,5; 12,7; 12,2; 12$

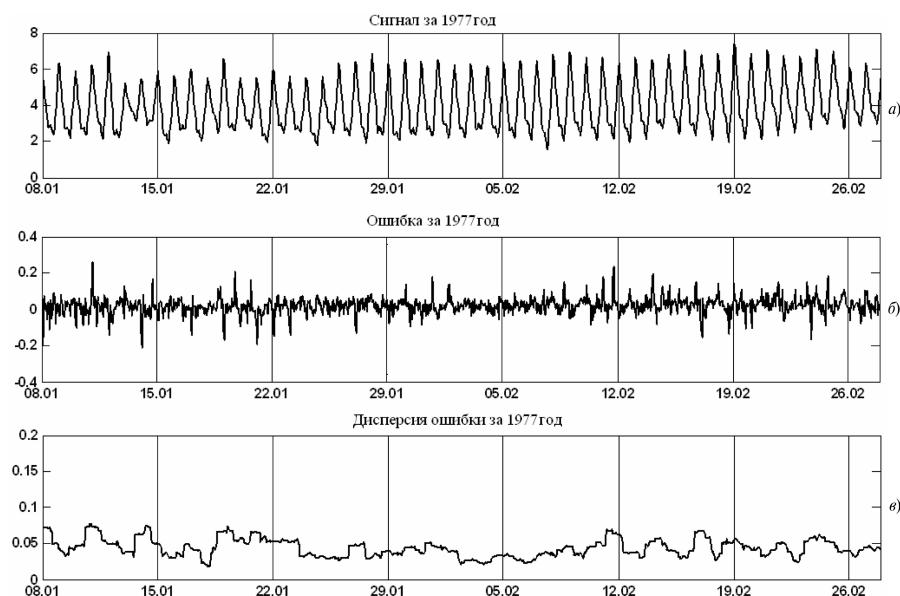


Рис. 3. Результат работы НС:

a — восстановленная компонента сигнала регистрации критической частоты зимнего периода 1977 г.; *b* — ошибка сети; *в* — дисперсия ошибки сети, рассчитанная в скользящем временном окне, равном одним суткам

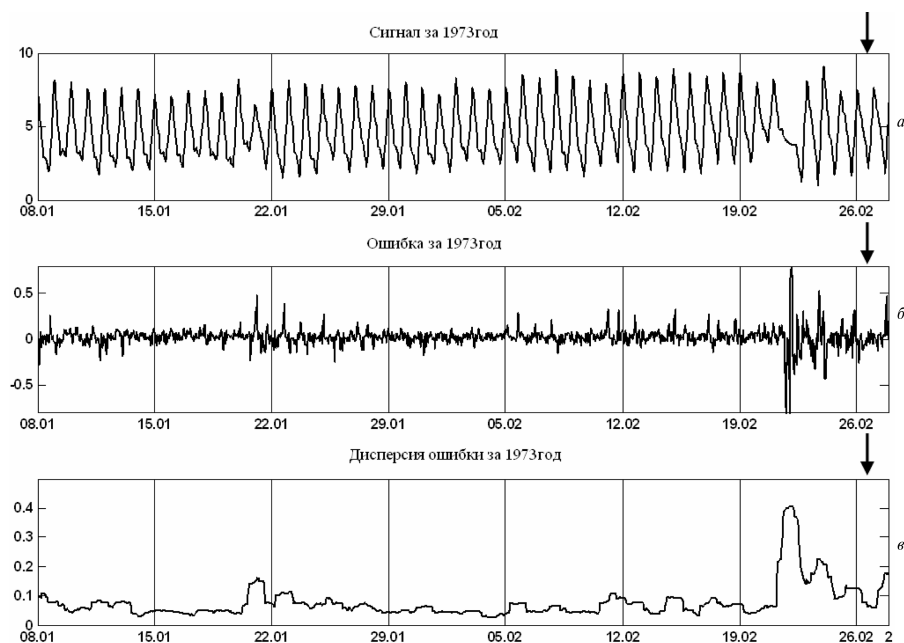


Рис. 4. Результат работы НС:

a — восстановленная компонента сигнала регистрации критической частоты зимнего периода 1973 г.; *b* — ошибка сети; *в* — дисперсия ошибки сети, рассчитанная в скользящем временном окне, равном одним суткам

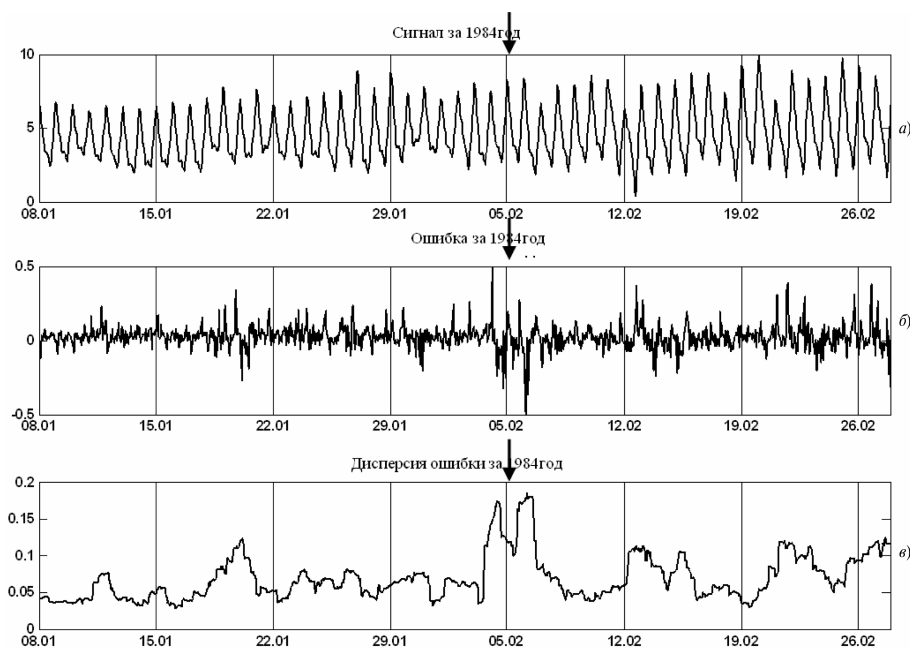


Рис. 5. Результат работы НС:

a — восстановленная компонента сигнала регистрации критической частоты зимнего периода 1984 г.; *б* — ошибка сети; *в* — дисперсия ошибки сети, рассчитанная в скользящем временном окне, равном одним суткам

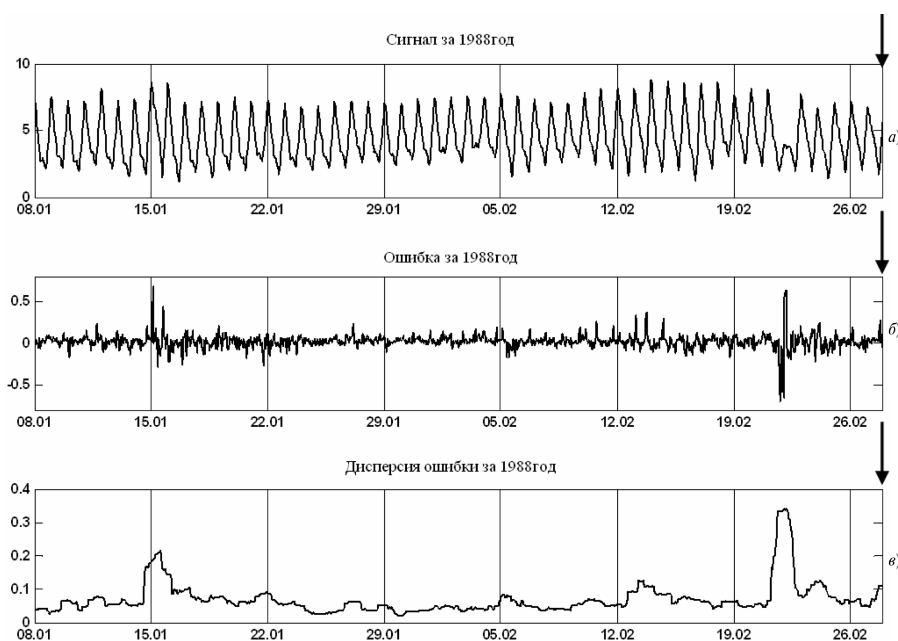


Рис. 6. Результат работы НС:

a — восстановленная компонента сигнала регистрации критической частоты зимнего периода 1988 г.; *б* — ошибка сети; *в* — дисперсия ошибки сети, рассчитанная в скользящем временном окне, равном одним суткам

На рис. 3 в качестве примера показан результат работы сети, для тестовой выборки использовались данные критической частоты зимнего периода 1977 г. В этот период на Камчатке не наблюдалось сильных сейсмических событий. Как

видно из графика, дисперсия ошибки сети в этот период, рассчитанная в пределах временного окна, равного одним суткам (24 отсчета), не превышает значения 0,07. На рис. 4—6 показан результат работы этой сети в периоды повышения сейсмической активности на Камчатке. Данные сейсмического каталога в эти периоды лет показаны в таблице.

Моменты произошедших землетрясений отмечены на рисунках стрелками. Результаты обработки показывают, что накануне сильных сейсмических событий на Камчатке происходит резкое увеличение ошибки сети, на что также указывает увеличение дисперсии ошибки, рассчитанной в пределах скользящего временного окна, равного одним суткам (24 отсчета). Анализ данных обработки этих лет подтвердил правильную работу НС и позволил выделить аномальные периоды в данных регистрации критической частоты, соответствующие периодам повышения сейсмической активности на Камчатке.

Список литературы

1. **Нейроматематика.** Кн. 6: Учеб. пособие для вузов / Агеев А. Д., Балухто А. Н., Бычков А. В. и др.; Общая ред. А. И. Галушкина. — М.: ИПРЖР, 2002. 448 с. (Нейрокомпьютеры и их применение).
2. **Горбань А. Н., Россиев Д. А.** Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996.
3. **Корнеев В. В., Гареев А. Ф., Васютин С. В., Райх В. В.** Базы данных. Интеллектуальная обработка информации: М.: Издатель Молгачева С. В., Издательство Нолидж, 2001. 496 с.
4. **Богданов В. В., Гепшенер В. В., Мандрикова О. В.** Моделирование нестационарных временных рядов геофизических параметров со сложной структурой. С.-Петербург: Изд. ЛЭТИ. 2006.
5. **Ingrid Daubechies.** Ten Lectures on Wavelets. — Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". — 2001.
6. **Stephane Mallat.** A Wavelet tour of signal processing. — М.: Мир, 2005.

Э. М. Соколов, д-р техн. наук, зав. каф.

В. М. Панарин, д-р техн. наук, проф.

Тульский государственный университет,

Р. В. Нуртдинов, генерал-майор,

начальник Главного управления МЧС России
по Тульской области,

А. А. Зуйкова, канд. техн. наук, доц.,

Тульский государственный университет

Внедрение новых информационных технологий в работу органов управления системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций

Приводится описание разработки системы слежения за движением и состоянием автомобилей с использованием спутниковой навигации GPS, которая позволит реализовать возможность визуализации и анализа пользовательской информации на входящей в состав системы масштабируемой электронной карте, а также возможности хранения данных о перемещении и состоянии контролируемых объектов, подготовки на их основе отчетов, содержащих в том числе и визуализированные на электронной карте данные.

Ключевые слова: мониторинг, спутниковая навигация, чрезвычайные ситуации, управление, принятие решений, геоинформационная система.

Обеспечение защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера является одной из важнейших задач, решаемых в Тульской области, занимающей 0,2 % территории Российской Федерации и являющейся одной из наиболее развитых в промышленном отношении. На территории области размещено 1037 организаций, эксплуатирующих более 3450 опасных производственных объектов. В результате Чернобыльской катастрофы радиационному воздействию подверглась территория области общей площадью 11,591 тыс. км², на которой находятся 1299 населенных пунктов с численностью населения 665,3 тыс. человек.

В рамках принятой в 2007 году Областной целевой программы "Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Тульской области на 2008—2010 годы" запланированы мероприятия по совершенствованию систем наблюдения и лабораторного контроля, а также развитию центров мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (ЧС).

В настоящее время система связи пунктов управления территориальной подсистемы единой российской системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее — РСЧС) Тульской области, автоматизированной информационно-управляющей системы, единой системы оперативно-диспетчерской службы создана на базе каналов и комплекса технических средств электросвязи Тульского филиала ОАО "ЦентрТелеком" и узлов связи Главного управления МЧС России по Тульской области, каналов и линий связи предприятий и организаций различных министерств и ведомств, расположенных на территории области. Все узлы электросвязи Тульского филиала ОАО "ЦентрТелеком" обеспечены резервными источниками электропитания (дизель-генераторы и АКБ), рассчитанными на обеспечение электропитанием технологического оборудования.

При режиме функционирования территориальной подсистемы РСЧС "Чрезвычайная ситуация" система связи наращивается за счет развертывания подвижных средств связи Главного управления МЧС России по Тульской области, Тульского филиала ОАО "ЦентрТелеком" и Центра специальной связи и информации Федеральной службы охраны Российской Федерации в Тульской области.

Существующая внутриобластная сеть связи Тульского филиала ОАО "ЦентрТелеком" имеет выход на магистральную сеть России через узел связи сетевой коммутации (УСК-3), с обеспечением устойчивой телефонной, телеграфной и телекоммуникационной связи со всеми городами и районами области в обход областного центра и городов, отнесенных к группам по гражданской обороне (ГО). В качестве резервной связи с городами, отнесенными к группам по ГО, используется КВ и УКВ радиосвязь и функционирует сеть корпоративной сотовой связи на базе ОАО "Вымпелком-Регион".

Имеющаяся информационная сеть имеет некоторые недостатки. Существует недостаточное финансирование закупки новой техники связи, что приводит к постепенному ее старению. Так, 85 % радиостанций ГПС выработали установленный ресурс. Не решен вопрос с закреплением радиочастот за государственной противопожарной службой, ныне принадлежащих МВД России. Поэтому в настоящее время ведутся разработки систем слежения за движением и состоянием автомобилей с использованием спутниковой навигации GPS. Большое внимание уделяется разработке и применению систем спутниковой навигации для различных отраслей промышленности и транспорта. В коммерческих и государственных организациях, где используется большое количество подвижного грузового, пассажирского и легкового транспорта, становится все

более актуальной задача контроля и управления удаленными объектами.

В последнее время с развитием GSM-связи спрос на внедрение системы телеметрии на основе GSM уверенно растет, это связано с низкими затратами на внедрение и высокой эффективностью работы системы. В связи с этим группой специалистов ООО "СервисСофт", Тульского государственного университета, ОАО "Тулаоблгаз" и Главного управления МЧС России по Тульской области разработана система телеметрии "Ssoft-Навигация-МЧС" для мониторинга и навигации автотранспорта для разведки ликвидации последствий аварий и чрезвычайных ситуаций.

Система "Ssoft-Навигация-МЧС" предназначена для мониторинга и навигации транспорта аварийных служб, действующих в условиях чрезвычайных ситуаций, определения отклонений от заданных маршрутов и графиков их передвижения. Система объединяет системы навигации, мониторинга, диспетчеризации, безопасности и контроля доступа к транспортным средствам. В состав комплекса входит бортовое устройство и комплекс программных средств для обработки данных и подготовки отчетов.

"Ssoft-Навигация-МЧС" обеспечивает сбор и хранение информации о местоположении и состоянии транспорта, грузов и других мобильных объектов с помощью GPS и передачу ее с заданной периодичностью на основе GPRS-соединения через Интернет на пункт оперативно-диспетчерской службы управления РСЧС. Вся информация, отображенная на электронных картах (города, области или страны) компьютера диспетчера, поступает в программу диспетчерского пункта со всех устройств контроля, которые встроены в автомобиль. Планы рейсов накапливаются в базе данных и затем архивируются. Диспетчерский пункт представляет собой компьютер с установленным на нем системным диспетчерским программно-картографическим обеспечением. К компьютеру подключен GSM-модем с антенной. Архивация проводится сервером автоматически в нерабочее время (например, в полночь). В архиве сохраняются все параметры фактического передвижения автомобиля и все параметры плана. Данные, сохраненные в архиве, могут быть использованы для статистического анализа рейсов и исполнения плана. Предусмотрена возможность проведения анализа работы одной автомашины или группы машин, а также всего объема рейсов одновременно. Анализируются такие параметры, как пробег, время в пути, число остановок, число опозданий, число обслуженных клиентов, средняя скорость, время нахождения у клиентов и т. д.

Вся информация об автомобиле хранится в базе данных компьютера диспетчерского пункта в

течение 5 лет. Система имеет голосовую связь между диспетчером и водителем.

Для сбора и передачи информации на диспетчерский пункт каждое автотранспортное средство оборудуется специальным блоком GPS-GSM-GPRS с передачей информации через сотовую связь. Они имеют небольшие размеры и могут быть установлены скрытно. Сам бортовой блок содержит встроенные в него приемник GPS, GSM, GPRS-модем и навигационный процессор.

По запросу с диспетчерского пункта (ДП) или через определенное время по установленному регламенту бортовой блок определяет местоположение подвижного объекта, принимая и обрабатывая сигналы от спутников системы GPS, и вместе с информацией от датчиков состояния объекта передает на диспетчерский пункт, где объект отображается на цифровой карте-схеме на экране монитора.

Бортовой блок отправляет на ДП кодированные сообщения, в каждом из которых содержится информация о последних 10 пройденных подвижным объектом путевых точках. Интервал между фиксацией путевых точек задается с ДП.

Для каждой из путевых точек (ПТ) указываются: время прохождения ПТ; географические координаты ПТ; скорость во время прохождения ПТ; путевой угол (курс).

Кроме того, к передаваемому на ДП сообщению приписывается информационный код, идентифицирующий состояние подвижного объекта (нормальное, запрос на подключение к обслуживанию, начало движения после стоянки, ТРЕВОГА, отсутствие сигнала GSM, постановка и снятие с охраны и др.). Код ТРЕВОГИ соответствует комбинации четырех сигнальных линий (нажата тревожная кнопка, сработала штатная охранный сигнализация, обрыв бортовой сети, полное пропадание спутников GPS).

Бортовой блок оснащен кнопкой "ТРЕВОГА" и, кроме того, может быть подключен к обычной автомобильной сигнализации. При несанкционированном доступе к автомобилю, при срабатывании сигнализации или при нажатии кнопки "ТРЕВОГА" диспетчер незамедлительно получает тревожное сообщение и отслеживает передвижение "тревожного" автомобиля. При необходимости диспетчер может подать команду на иммобилайзер или другое исполнительное устройство, установленное на автомобиле, которое отключит двигатель, блокирует стартер и пр.

Тревожные сообщения передаются также дополнительно в виде коротких SMS-сообщений на сотовые трубки (например, службе охраны, владельцу, диспетчеру).

Бортовой блок можно запрограммировать таким образом, что он будет автоматически посылать тревожные сообщения при совершении оп-

ределенных событий: выезд за пределы зоны, разрешенной для движения; превышение порога заданной максимальной скорости.

Предусмотрена возможность дистанционного (по каналу GSM) перепрограммирования параметров бортового блока, а также считывания содержимого его памяти. В системе также может быть реализован режим передачи (обмена) служебной информации.

Максимальное число объектов наблюдения, различаемых диспетчерской программой, составляет несколько тысяч.

Система может поддерживать несколько диспетчерских пунктов. Каждый диспетчерский пункт может работать независимо от других и быть авторизован на работу с определенной группой объектов.

Возможна реализация мобильного диспетчерского пункта.

Передача информации в системе осуществляется по выбору, как по голосовому каналу (в пределах 5 с), так и с помощью коротких SMS-сообщений, что позволяет минимизировать затраты на услуги связи.

В обоих случаях за один цикл связи на диспетчерский пункт передается информация о десяти пройденных автомобилем путевых точках в течение

определенного, заранее установленного интервала времени (например, местоположение автомобиля через каждые 6 с в течение последней минуты или через каждые полчаса в течение последних 5 ч).

Ключевыми преимуществами системы по сравнению с распространенными системами оперативного мониторинга местоположения являются:

- возможности визуализации и анализа пользовательской информации на входящей в состав комплекса масштабируемой электронной карте;
- возможности хранения данных о перемещении и состоянии контролируемых объектов, подготовки на их основе отчетов, содержащих в том числе и визуализированные на электронной карте данные.

Список литературы

1. Нуртдинов Р. В. Материалы для ежегодного государственного доклада о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера по Тульской области в 2007 году.
2. Царьков Г. Ю., Панарин В. М., Панарин М. В. GSM- и GPS-технологии в системах телеметрии и мониторинга автомобильного транспорта // Современные наукоемкие технологии: теория, эксперимент и практические результаты: Материалы междунар. науч.-практич. симпозиума. 14–20 апреля 2007 г. / Под общей ред. чл.-кор. РАН В. П. Мешалкина. Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. С. 158–159.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.7

С. А. Зинкин, канд. техн. наук, доц.,
Пензенский государственный университет

Реализация барьерной синхронизации и управление процессами в виртуальном сетевом дисковом массиве

Представлена архитектура виртуального сетевого дискового массива, основанная на модели согласования и координации объектов и процессов. Рассмотрено применение формализмов сетей абстрактных машин для описания барьерной синхронизации процессов сборки фрагментов записей в распределенном сетевом RAID-массиве.

Ключевые слова: система внешнего хранения данных, виртуальный дисковый массив, сетевые спецификации, абстрактные машины, сетевая реализация.

Многими исследователями в области вычислительной техники отмечалось, что инфраструктура классической мультипроцессорной системы не полностью соответствует ее алгоритмической структуре. В связи с развитием технологий сетевых вычислений и сетевых хранилищ данных эти проблемы не становятся менее значимыми. Как и ранее, перед разработчиком сетевой инфраструктуры хранилищ данных стоят проблемы выбора способов связи, организации маршрутов передачи данных, синхронизации процессов. Нетрудно дать современные сетевые аналоги для средств и методов, обеспечивающих простоту и гибкость в архитектуре параллельных вычислительных систем [1]: организация непосредственной связи процессов через многопортовую память или связи в ограниченной окрестности, иерархическая организация структуры средств обработки и хранения данных, использование топологии, не зависящей от размерности (масштабируемость).

Для описания работы (с последующей разработкой аппаратного и программного обеспечения) сетей хранения данных можно использовать

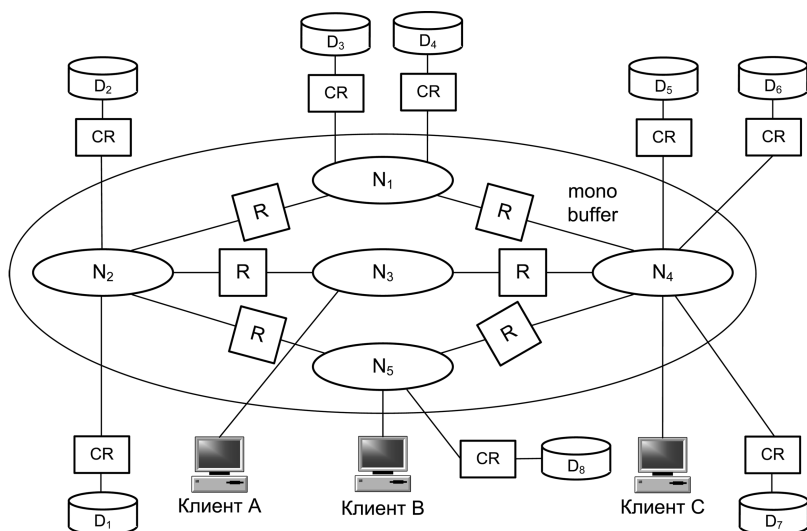


Рис. 1. Составная сеть с сетевыми дисковыми модулями: N — подсеть, R — маршрутизатор, CR — дисковый контроллер-маршрутизатор, D — дисковый модуль

класс логико-алгебраических моделей, основанный на формализмах сетей абстрактных машин (CeAM) и их расширенного варианта (PCeAM) [2, 3]. Предполагается, что рассмотренные методы, основанные на механизмах исполняемых спецификаций сетей абстрактных машин и активных семантических сетей, предложенных в работах автора [4–6], позволят сделать шаг к преодолению семантического разрыва между инфраструктурой классической мультипроцессорной системы и алгоритмическими структурами, обеспечивающими внутреннюю и внешнюю интеллектуализацию систем и сетей хранения и обработки данных.

Рассмотрим составную сеть внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), представленную на рис. 1. Разделяемые ресурсы здесь представлены сложной составной сетью, используемой клиентами А, В и С для хранения данных. Здесь CR — многофункциональный сетевой контроллер-маршрутизатор. В подобных сетях обычно реализуется концепция реализации протоколов команд ВЗУ сетевым протоколом составной сети.

В дальнейшем в качестве примера мы рассмотрим организацию распределенного виртуального DRAID-массива (DRAID — distributed RAID), базирующуюся на концепции RAID. Массивы RAID (Redundant Array of Independent Disks — избыточный массив независимых дисков) первоначально были разработаны в Калифорнийском университете Беркли [7, 8]. Разработанная нами реализация DRAID-массива базируется на следующих типах организации RAID-массивов: RAID 0, RAID 1, RAID 5, RAID 50 и RAID 51.

Используя работу [7], опишем кратко некоторые особенности организации данных массивов с учетом сетевой реализации. В сетевом массиве RAID 0 выполняется расслоение данных на не-

сколько сетевых дисковых модулей. Чтение и запись данных на различные дисковые модули может выполняться параллельно. В сетевом массиве RAID 1 осуществляется зеркалирование данных на отдельных физических дисковых модулях. В сетевом массиве RAID 5 реализуется концепция чередования данных с распределенной четностью; информация о четности хранится на различных сетевых дисковых модулях. Выполнение барьерной синхронизации здесь необходимо при восстановлении массива вследствие отказа одного из дисков. В сетевых массивах RAID 50 данные сначала расслаиваются на различные области сети хранения, а затем в каждой из областей реализуется сетевой массив RAID 5. В сетевых массивах RAID 51 сетевая операция формирования массива

RAID 5, аналогичная предыдущей, выполняется над первоначально распределенными в сети копиями данных. Технология сетевых массивов DRAID позволяет организовать и другие типы RAID-массивов, например RAID 6 [8], функционирующие и при потере двух дисков. В сетевом DRAID-массиве реализуется также и обычное резервное копирование. Переход от сосредоточенной реализации RAID-массива к сетевой, распределенной, не является тривиальной задачей и требует учета особенностей передачи пакетов с инкапсулированными в них блоками данных через составную сеть, а также организацию синхронизации процессов для выполнения согласованных действий по восстановлению записей, хранимых в сетевой памяти.

Базирующаяся на формализмах сетей CeAM и PCeAM технология *Function Spaces* (FS-технология) основана на представлении и модификации отношений и функций в сценарных моделях систем искусственного интеллекта, однако она имеет ряд общих черт с известной системой параллельного программирования *Linda*, разработанной группой исследователей Йельского университета под руководством профессора Д. Джелернтера [9]. Это сходство не случайно — еще ранее профессором Д. А. Поспеловым [10] было предложено использовать концепцию "доски объявлений" в качестве одной из парадигм систем искусственного интеллекта. Модули-продукции CeAM и модули-процедуры PCeAM (расширенный темпоральными операциями вариант CeAM), составляющие основу реализации FS-технологии, содержат блоки условных замещений функций и отношений в соответствии с формализмом эволюционирующих алгебраических систем [11] и могут быть использованы для реализации согласованных взаимодействий

объектов при интенсивном обновлении структурированных данных в *FS*-пространстве.

В отличие от системы *Linda* *FS*-пространство содержит не отдельные кортежи, а функции и отношения (последние представлены областями истинности одноименных предикатов). Текущему состоянию *FS*-пространства соответствует текущая сигнатура эволюционирующей алгебраической системы $\langle F(t), P(t) \rangle$, где $F(t)$ — текущая система операций, а $P(t)$ — текущая система конечноместных отношений.

Для фиксированной сигнатуры $\langle F, P \rangle$ алгебраической системы рассматривается многосортный язык первой и высших ступеней $L(F, P)$. Сорта сигнатуры интерпретируются как множества. В рамках данного формализма естественно изучать частичные алгебры и алгебры с многозначными операциями, что особенно удобно для представления эволюции при конкретизации отношений в семантических сетях с событиями и каузальными (или темпоральными) связями, т. е. в сценариях. Как обычно, сигнатура задает структурные связи между понятиями предметной области, представленными предикатами и функциями, логические связи между этими понятиями задаются формулами, которые записываются в сигнатуре; структурные и логические связи выражают соответствующие части некоторого знания о предметной области [12].

Модификация сигнатуры осуществляется модулями-продукциями и модулями-процедурами, являющимися узлами сети абстрактных машин. Запуск модулей осуществляется агентами, возможно, мобильными. Сами функции и отношения могут копироваться, перемещаться, блокироваться и модифицироваться. Например, модификации (обновления) бинарного предиката $p_{\text{start}}(a_i, m_j) \leftarrow \text{true}$ или унарной функции $f_{\text{start}}(a_i) \leftarrow m_j$ приводит к активизации нового модуля m_j агентом a_i .

Барьерная синхронизация процессов, необходимая, например, в виртуальных реплицированных сетевых системах хранения данных и *DRAID*-системах, имеет относительно простую реализацию в сетевой *FS*-технологии. Рассмотрим решение данной проблемы в системе *Linda*, а затем по *FS*-технологии.

Процитируем часть материала лекции [13]: "Предположим, что в некоторой точке нужно выполнить барьерную синхронизацию N процессов. Какой-то один процесс, например стартовый, заранее помещает в пространство кортеж ("ForBarrier", N). Подходя к точке синхронизации, каж-

дый процесс выполняет следующий фрагмент, который и будет выполнять функции барьера:

```
in("ForBarrier", formal Bar);
Bar = Bar - 1; if(Bar != 0)
{out("ForBarrier", Bar);
read("Barrier")} else out("Barrier");
```

Если кортеж с именем "ForBarrier" есть в пространстве, то процесс его изымает, в противном случае блокируется до его появления. Анализируя второй элемент данного кортежа, процесс выполняет одно из двух действий. Если есть процессы, которые еще не дошли до данной точки, то он возвращает кортеж в пространство с уменьшенным на единицу вторым элементом и встает на ожидание кортежа "Barrier". В противном случае он сам помещает кортеж "Barrier" в пространство, что для всех является сигналом к продолжению работы.

Рассмотрим четыре варианта реализации барьерной синхронизации процессов в *FS*-технологии. Данные примеры иллюстрируют основные особенности реализации *FS*-технологии и позволяют использовать простое кодирование сетевых приложений для программной реализации распределенного виртуального *RAID*-массива. Основной сложностью при реализации виртуального *RAID*-массива является организация барьерной синхронизации процессов при сборке распределенных по всей сети фрагментов записей.

Первый вариант реализации основан на использовании формализма *SeAM*. Ниже представлены процессы, участвующие в барьерной синхронизации:

процесс агента-сервера a_1 :

$$m_{a1} = \dots f_{a1,1}(a_1) \leftarrow \text{true} \dots;$$

$$m_{a1,1} = [f_{a1,1}(a_1) \ \& \ \underbrace{(\exists!x \in X)f_s(x)}_{\text{true}}](\{f_s(x) \leftarrow \text{false}, f_{a1,1}(a_1) \leftarrow \text{false}, f_{a1,2}(a_1) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a1,2} = [f_{a1,2}(a_1) \ \& \ \neg(\exists x \in X)f_s(x)](\{f_{a1,2}(a_1) \leftarrow \text{false}, f_{a1,3}(a_1) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a1,3} = [f_{a1,3}(a_1) \dots];$$

процесс агента-сервера a_2 :

$$m_{a2} = \dots f_{a2,1}(a_2) \leftarrow \text{true} \dots;$$

$$m_{a2,1} = [f_{a2,1}(a_2) \ \& \ \underbrace{(\exists!x \in X)f_s(x)}_{\text{true}}](\{f_s(x) \leftarrow \text{false}, f_{a2,1}(a_2) \leftarrow \text{false}, f_{a2,2}(a_2) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a2,2} = [f_{a2,2}(a_2) \ \& \ \neg(\exists x \in X)f_s(x)](\{f_{a2,2}(a_2) \leftarrow \text{false}, f_{a2,3}(a_2) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a2,3} = [f_{a2,3}(a_2) \dots];$$

процесс агента-сервера a_i :

$$m_{ai} = \dots f_{ai,1}(a_i) \leftarrow \text{true} \dots;$$

$$\begin{aligned}
m_{ai, 1} &= [f_{ai, 1}(a_i) \& (\exists!x \in X)f_s(x)](\{f_s(x) \leftarrow \\
&\leftarrow \text{false}, f_{ai, 1}(a_i) \leftarrow \text{false}, f_{ai, 2}(a_2) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E); \\
m_{ai, 2} &= [f_{ai, 2}(a_i) \& \neg (\exists x \in X)f_s(x)](\{f_{ai, 2}(a_i) \leftarrow \\
&\leftarrow \text{false}, f_{ai, 3}(a_i) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E); \\
m_{ai, 3} &= [f_{ai, 3}(a_2) \dots; \\
x \in X, X &= \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, i = 1, 2, \dots, n.
\end{aligned}$$

Выполнение каждого из процессов $a_1, a_2, \dots, a_n$ заключается в выполнении каузально связанных через соответствующие предикаты модулей-продукций, построенных на основе α -дизъюнкций и блоков обновления предикатов. Таким образом, каждому процессу $a_i, i = 1, 2, \dots, n$, соответствуют действия одноименного агента-сервера, интерпретирующего СеАМ-выражения для модулей. Так, агент-сервер a_i , "перемещаясь" по сети абстрактных машин, точнее, по ее узлам $m_{ai}, m_{ai, 1}, m_{ai, 2}, m_{ai, 3}$, реализует процесс a_i . Предикат $f_{ai, 1}$ используется для организации каузальной связи "по завершении работы модуля m_{ai} может быть инициирована работа модуля $m_{ai, 1}$ ". Таким же образом реализуются каузальные связи между парами модулей $m_{ai, 1}$ и $m_{ai, 2}$, $m_{ai, 2}$ и $m_{ai, 3}$.

Организованные таким образом процессы будем называть процессами агентов-серверов. Помимо агентов-серверов в сетевой среде функционируют и агенты-демоны, работа которых инициируется модулями. На этапе формализации агенты-серверы и агенты-демоны являются абстрактными понятиями. Дадим пояснения к приведенным выше выражениям для модулей-продукций СеАМ.

Оператор подчеркивания ставит в соответствие оператору выбора $((\exists!x \in X)f_s(x))$ логическое условие $\alpha = (\exists!x \in X)f_s(x)$, принимающее значение true в том и только в том случае, когда агенту-серверу удалось выбрать одно из значений x из области истинности предиката f_s . В противном случае, если такой выбор не удалось сделать, $\alpha = \text{false}$. Запятые в блоках соответствуют операции "|" (возможно одновременное выполнение совместимых, или согласованных обновлений функций, или предикатов блока). Блоками здесь называются группы элементарных правил обновления предикатов, заключаемые в фигурные скобки.

Барьерная синхронизация n процессов начинается с момента, когда некоторый стартовый агент-сервер a_j выполнит модуль

$$\begin{aligned}
m_{aj} &= [f_{aj}(a_j) \& \\
&\& (\forall x \in X)f_x(x) \& \neg (\exists x \in X)f_s(x)](\{f_x(x) \leftarrow \\
&\leftarrow \text{true}, f_{aj}(a_j) \leftarrow \text{false}\} \vee R^E).
\end{aligned}$$

Начиная с этого момента все значения n -арного предиката f_s становятся истинными и барьер-

ная синхронизация процессов $a_1, a_2, \dots, a_n$ может быть начата. Область определения данного предиката содержит значения предметной переменной x , пробегающей по множеству $X = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Реализуя модуль m_{aj} , агент-сервер проверяет условие $f_{aj}(a_j) \& (\forall x \in X)f_x(x) \& \neg (\exists x \in X)f_s(x)$. Первый элемент конъюнкции истинен, если модуль, предшествующий модулю m_{aj} , уже завершил свою работу и выполнил замещение (обновление) функции $f_{aj}(a_j) \leftarrow \text{true}$. Значение второго элемента конъюнкции формируется следующим образом: квантифицированный оператор $\forall$ выбирает все значения x , принадлежащие области истинности унарного предиката f_x , совпадающей в данном случае с его областью определения, $x \in X, X = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Оператор подчеркивания ставит в соответствие оператору выбора $(\forall x \in X)f_x(x)$ логическое условие $\beta = (\forall x \in X)f_x(x)$, принимающее значение true в том и только том случае, когда выбраны все значения x из области истинности предиката f_x ; в противном случае $\beta = \text{false}$. Если

$$f_{aj}(a_j) \& (\forall x \in X)f_x(x) \& \neg (\exists x \in X)f_s(x) = \text{true},$$

то в модуле m_{aj} реализуется блок обновления предикатов:

$$\{f_s(x) \leftarrow \text{true}, f_{aj}(a_j) \leftarrow \text{true}\}.$$

Запятые в блоках соответствуют операции "|" (возможно одновременное выполнение совместимых обновлений). Так как к началу выполнения блока будут выбраны все $x \in X$, то в блоке будут выполнены следующие совместимые обновления:

$$\begin{aligned}
\{f_s(a_1) \leftarrow \text{true}, f_s(a_2) \leftarrow \text{true}, \dots, f_s(a_n) \leftarrow \\
\leftarrow \text{true}, f_{aj}(a_j) \leftarrow \text{false}\}.
\end{aligned}$$

Предикат f_x является характеристической функцией множества X и в его блокировке при выполнении модуля m_{aj} нет необходимости.

В описанном выше модуле выполнение правила обновления $f_{aj}(a_j) \leftarrow \text{false}$ препятствует повторному его (модуля) выполнению ("зацикливанию") под управлением собственного агента-сервера. Аналогично организуется работа и других модулей.

Начиная с момента, когда все значения функции f_s стали истинными, все n процессов ведут себя одинаково. Каждый из процессов по очереди, "захватив" (то есть блокировав) предикат f_s , пытается обнаружить в нем хотя бы одно (любое) истинное значение. После обнаружения это значение заменяется на ложное и предикат f_s разблокируется. Затем процесс проверяет, все ли остальные процессы проделали такие же действия.

К моменту, когда любой из процессов первым "убедится" в том, что все значения предиката f_s ложны, все процессы уже находятся в области синхронизации. Находясь в области синхронизации, процессы через посредство своих агентов-серверов и агентов-демонов выполняют функцию синхронизации или восстановления записи или блоков виртуального DRAID-массива, обмениваясь обычными сообщениями по сети.

Рассмотрим, например, один из описанных выше модулей, например $m_{ai, 1}$. Выражение для охранного условия данного модуля-продукции имеет вид $f_{ai, 1}(a_i) \& (\exists!x \in X)f_s(x)$, где $\exists!$ — квантифицированный оператор (недетерминированного) выбора одного из значений x , такого, что $f_s(x) = \text{true}$, а с помощью предиката $f_{ai, 1}$ реализуется соответствующая каузальная связь между модулями m_{ai} и $m_{ai, 1}$. Как определено ранее, оператор подчеркивания ставит в соответствие оператору $(\exists!x \in X)f_s(x)$ логическое условие $\alpha = (\exists!x \in X)f_s(x)$, принимающее значение true, когда хотя бы при одном значении $x f_s(x) = \text{true}$ и одно такое значение выбрано. Именно для этого выбранного значения x в блоке обновления предикатов модуля $m_{ai, 1}$ выполняется правило обновления предиката $f_s(x) \leftarrow \text{false}$. После того как все n процессов выполняют по одному такому обновлению, значение выражения $\neg(\exists x \in X)f_s(x)$ станет равным true, и каждый из процессов a_i , проверив данное значение и выполнив модуль $m_{ai, 2}$ до конца, затем покинет область синхронизации.

Перед выполнением проверки значений предиката f_s каждый из процессов копирует данный предикат в свое (локальное) пространство, либо агент-сервер, интерпретирующий соответствующий модуль-продукцию, перемещается в FS-пространство и проверяет значения предиката. В случаях, когда значения выражений для охранных условий ложны, соответствующий модулю-продукции агент-сервер ожидает изменения значения выражения на истинное, периодически вычисляя его. В выражениях для модулей R^E — тождественное обновление, эквивалентное тождественному оператору E из систем алгоритмических алгебр [14, 15]. В этих же работах определены используемые нами операции α -дизъюнкции и α -итерации.

Второй вариант реализации барьерной синхронизации процессов, представленных в виде каузально связанных модулей-продукций CeAM, предусматривает при входе в область синхронизации проверки на истинность каждым процессом "собственных" значений предиката f_s :

процесс агента-сервера a_1 :

$$m_{a1} = \dots f_{a1, 1}(a_1) \leftarrow \text{true} \dots;$$

$$m_{a1, 1} = [f_{a1, 1}(a_1) \& f_s(a_1)](\{f_s(a_1) \leftarrow \text{false}, f_{a1, 1}(a_1) \leftarrow \text{false}, f_{a1, 2}(a_1) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a1, 2} = [f_{a1, 2}(a_1) \& \neg(\exists x \in X)f_s(x)](\{f_{a1, 2}(a_1) \leftarrow \text{false}, f_{a1, 3}(a_1) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a1, 3} = [f_{a1, 3}(a_1) \dots];$$

процесс агента-сервера a_2 :

$$m_{a2} = \dots f_{a2, 1}(a_2) \leftarrow \text{true} \dots;$$

$$m_{a2, 1} = [f_{a2, 1}(a_2) \& f_s(a)](\{f_s(a) \leftarrow \text{false}, f_{a2, 1}(a_2) \leftarrow \text{false}, f_{a2, 2}(a_2) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a2, 2} = [f_{a2, 2}(a_2) \& \neg(\exists x \in X)f_s(x)](\{f_{a2, 2}(a_2) \leftarrow \text{false}, f_{a2, 3}(a_2) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{a2, 3} = [f_{a2, 3}(a_2) \dots];$$

процесс агента-сервера a_i :

$$m_{ai} = \dots f_{ai, 1}(a_i) \leftarrow \text{true} \dots;$$

$$m_{ai, 1} = [f_{ai, 1}(a_i) \& f_s(a_i)](\{f_s(a_i) \leftarrow \text{false}, f_{ai, 1}(a_i) \leftarrow \text{false}, f_{ai, 2}(a_i) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{ai, 2} = [f_{ai, 2}(a_i) \& \neg(\exists x \in X)f_s(x)](\{f_{ai, 2}(a_i) \leftarrow \text{false}, f_{ai, 3}(a_i) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E);$$

$$m_{ai, 3} = [f_{ai, 3}(a_i) \dots];$$

$$x \in X, X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, i = 1, 2, \dots, n.$$

В отличие от первого примера здесь в условной, или охранной, части каждого из модулей $m_{ai, 1}$ вместо условия $f_{ai, 1}(a_i) \& (\exists!x \in X)f_s(x)$ проверяется условие $f_{ai, 1}(a_i) \& f_s(a_i)$. В остальном выполнение каждого процесса происходит аналогично первому примеру. Отличительной особенностью данного подхода является то, что в процессе интерпретации модулей можно наблюдать за "эволюцией" предиката f_s и выяснять, какие из процессов выполнили его модификацию ("обнуление" одного значения) и находятся в области синхронизации.

Отметим, что каждый агент-сервер, интерпретирующий модуль CeAM, для предотвращения типовых ситуаций может выполнять блокировки и деблокировки проверяемых или модифицируемых им функций. Перед началом интерпретации модуля агент-сервер может заблокировать необходимые предикаты, а после выполнения блока деблокировать их. Это позволяет исключить влияние других агентов-серверов на работу данного агента. В некоторых случаях выполнения подобного рода блокировок не требуется.

Реализация третьего и четвертого вариантов барьерной синхронизации связана с использованием формализма РСeAM. Особенностью реализации здесь является то, что темпоральные операции над модулями можно указывать явно в выражениях РСeAM, а не посредством описания каузальных связей. Каузальные связи здесь могут быть реализованы "по умолчанию". Часть темпоральных операций здесь может быть реализована путем простого "перемещения" агентов-серверов по модулям.

Ниже описаны две последние реализации барьерной синхронизации модулями РСeAM. В этих реализациях модулей используется операция α -итерация и темпоральная операция ";", последовательного выполнения действий. Агенты-серверы $a_1, a_2, \dots, a_n$, реализуя одноименные процессы, интерпретируют соответствующие выражения.

Третий вариант реализации представлен следующими выражениями для фрагментов модулей-процедур РСeAM:

$$\begin{aligned} m_{a1} &= (\dots [(\exists!x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s(x) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots); \\ m_{a2} &= (\dots [(\exists!x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s(x) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots); \\ &\dots \\ m_{ai} &= (\dots [(\exists!x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s(x) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots); \\ &\dots \\ m_{an} &= (\dots [(\exists!x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s(x) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots). \end{aligned}$$

Каждое выражение для операции α -итерации содержит формулу (в квадратных скобках) для условия, при ложности которого выполняется выражение в фигурных скобках (в данном случае тождественное правило R^E обновления). При истинности данного условия и после проверки этого факта агентом-сервером начинается выполнение выражения, следующего за выражением в фигурных скобках.

Выполнение α -итерации в выражениях РСeAM имеет свою специфику, связанную с блокировками функций и предикатов. В частности, при выполнении первой α -итерации в выражении для модуля m_{ai} осуществляется предварительная блокировка предиката f_s (этот факт отмечается символом "+"). Затем агент-сервер a_i проверяет возможность выбора одного из значений предметной переменной x . Если такой выбор сделан, то осуществляется выход из цикла и далее выбранное истинное значение предиката f_s заменя-

ется на ложное, а затем данный предикат разблокируется (этот факт отмечается символом "-"). Если же выбор не удалось сделать, то предикат f_s разблокируется и агент-сервер a_i снова становится в очередь на захват данного предиката с последующей проверкой условия в квадратных скобках на истинность. В данной очереди уже могут находиться другие агенты-серверы, которые должны выполнить аналогичные действия над предикатом f_s .

После выполнения агентом-сервером a_i правила обновления предиката $f_s(x) \leftarrow \text{false}$ одноименный (абстрактный) процесс входит в область синхронизации. Выполняя вторую α -итерацию, агент-сервер a_i для выхода из области синхронизации проверяет, все ли значения предиката f_s ложны, т. е. все ли процессы, включая собственный процесс, находятся в области синхронизации. При выполнении второй итерации агент-сервер выполняет блокирование и деблокирование предиката f_s . После выхода из цикла ожидания агент-сервер деблокирует предикат f_s и покидает область синхронизации. Аналогичным образом действуют и остальные агенты-серверы.

Четвертый вариант реализации барьерной синхронизации при использовании формализма РСeAM выполнен аналогично третьему с той существенной разницей, что при входе в область синхронизации каждый агент-сервер a_i проверяет на истинность "собственное" значение предиката, т. е. высказывание $f_s(a_i)$. В остальном модули РСeAM выполняются аналогично третьему варианту:

$$\begin{aligned} m_{a1} &= (\dots [f_s^+(a_1)]\{R^E\}; f_s(a_1) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots); \\ m_{a2} &= (\dots [f_s^+(a_2)]\{R^E\}; f_s(a_2) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots); \\ &\dots \\ m_{ai} &= (\dots [f_s^+(a_i)]\{R^E\}; f_s(a_i) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots); \\ &\dots \\ m_{an} &= (\dots [f_s^+(a_n)]\{R^E\}; f_s(a_n) \leftarrow \\ &\leftarrow \text{false}, f_s^-; [\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; f_s^-; \dots). \end{aligned}$$

Выполнение барьерной синхронизации в третьем и четвертом случаях начинается с выполнения одним из агентов-серверов a_j действий

$$\begin{aligned} m_{aj} &= (\dots [(\forall x \in X)f_x(x) \ \&\neg(\exists x \in X)f_s^+(x)]\{R^E\}; \\ &f_s(x) \leftarrow \text{true}; f_s^-; \dots), \end{aligned}$$

после выполнения которых область определения предиката f_s будет совпадать с его областью ис-

тинности. Как и ранее, после выполнения квантифицированного оператора $(\forall x \in X)f_x(x)$ будут выбраны все значения предметной переменной x , для которых $f_x(x) = \text{true}$, и в соответствии с записью $f_s(x) \leftarrow \text{true}$ будет выполнено следующее множество правил:

$$\{f_s(a_1) \leftarrow \text{true}, f_s(a_2) \leftarrow \text{true}, \dots, f_s(a_n) \leftarrow \text{true}, f_{aj}(a_j) \leftarrow \text{false}\}.$$

Выход из области синхронизации каждого из процессов-участников происходит аналогично третьему варианту реализации.

Используемая нами концепция абстрактного FS -пространства предполагает наличие в этом пространстве предикатов для хранения исходных и новых сетевых адресов формируемых фрагментов данных. Например, для фиксации нового адреса некоторый модуль СеАМ или РСеАМ должен выполнить следующие правила обновления тернарного предиката P_{store} :

$$\begin{aligned} P_{\text{store}}(a_{\text{user}}, b_{\text{old}}, c_{\text{new_1}}) &\leftarrow \text{true}; \\ P_{\text{store}}(a_{\text{user}}, b_{\text{old}}, c_{\text{new_2}}) &\leftarrow \text{true}; \\ &\dots \\ P_{\text{store}}(a_{\text{user}}, b_{\text{old}}, c_{\text{new_i}}) &\leftarrow \text{true}; \\ &\dots \\ P_{\text{store}}(a_{\text{user}}, b_{\text{old}}, c_{\text{new_n}}) &\leftarrow \text{true}, \end{aligned}$$

где a_{user} — идентификатор процесса пользователя; b_{old} — сетевой адрес исходной записи; $c_{\text{new_i}}$ — сетевой адрес i -го фрагмента, полученного от исходной записи, $i = 1, 2, \dots, n$. В процессе перемещения данные адреса изменяются и, соответственно, модифицируется предикат P_{store} .

При реализации барьерной синхронизации процессов в рамках FS -технологии важную роль играют блокировки функций и предикатов в FS -пространстве. FS -пространство является распределенной базой данных с интенсивным обновлением информационных объектов, представляющих функции и предикаты (точнее, области истинности предикатов). Блокировки необходимы по той причине, что работа модулей в реальной ситуации связана с выборкой функций и предикатов, проверкой их определенных значений и модификацией значений. На все данные действия требуется время. Блокировки функций и предикатов позволяют при этом организовать согласованную работу модулей.

Ранее для простоты мы отождествляли понятие абстрактного модуля СеАМ и РСеАМ с выражением для модуля. На физическом уровне, или уровне реализации FS -технологии, FS -модулем m_i, FS будем считать шестерку

$$m_i, FS = \langle m_i, a_{mi}, m_i, \text{lock}, a_{mi, \text{lock}}, m_i, \text{unlock}, a_{mi, \text{unlock}} \rangle,$$

где m_i — модуль СеАМ или РСеАМ; a_{mi} — агент-сервер; m_i, lock — модуль, осуществляющий блокировку функций и предикатов; $a_{mi, \text{lock}}$ — агент блокировки; m_i, unlock — модуль деблокировки; $a_{mi, \text{unlock}}$ — агент деблокировки.

Инициализирование работы модуля m_i осуществляют два правила обновления функций f_{start} и f_{FS} , объединенные в следующий блок некоторого управляющего модуля:

$$B_{mi, \text{start}} = \{f_{\text{start}}(a_{mi}) \leftarrow m_i, f_{FS}(a_{mi, \text{lock}}) \leftarrow m_i, \text{lock}\},$$

где

$$m_i, \text{lock} = [(\forall y \in Y)(P_{mi}(y) \& \neg f_{\text{lock}}(y))](\{f_{\text{lock}}(y) \leftarrow \text{true}, f_{ya}(y, a_{mi, \text{lock}}) \leftarrow \text{true}\} \vee R^E).$$

Правило $f_{\text{start}}(a_{mi}) \leftarrow m_i$ связывает агент-сервер a_{mi} с модулем m_i , а правило $f_{FS}(a_{mi, \text{lock}}) \leftarrow m_i, \text{lock}$ связывает агент блокировки $a_{mi, \text{lock}}$ с модулем блокировки m_i, lock . При выполнении модуля m_i, lock блокируются все функции и предикаты, необходимые для выполнения модуля m_i ; предварительно проверяется условие незаблокированности этих функций и предикатов $(\forall y \in Y)(P_{mi}(y) \& \neg f_{\text{lock}}(y))$, где переменная y пробегает по всем функциональным и предикатным символам FS -пространства; P_{mi} — предикат, в соответствии с логикой предикатов второго порядка характеризующий свойство функции или предиката "используется модулем m_i ". Область поиска функций и предикатов, которые должны быть заблокированы, задается предикатным выражением $\neg f_{\text{lock}}(y)$ и ограничивается областью истинности предиката P_{mi} . Унарный предикат f_{lock} отмечает значением true вновь заблокированный предикат или функцию, а бинарный предикат f_{ya} связывает его с агентом блокировки. Правила, сгруппированные в следующий блок, разблокируют функции и предикаты, использованные модулем m_i :

$$B_{mi, \text{end}} = \{f_{\text{start}}(a_{mi}) \leftarrow \text{undef}, f_{FS}(a_{mi, \text{lock}}) \leftarrow \text{undef}, f_{FS}(a_{mi, \text{unlock}}) \leftarrow m_i, \text{unlock}\},$$

где

$$m_i, \text{unlock} = [(\forall y \in Y)(P_{mi}(y) \& f_{\text{lock}}(y))](\{f_{\text{lock}}(y) \leftarrow \text{false}, f_{ya}(y, a_{mi, \text{lock}}) \leftarrow \text{false}\} \vee R^E).$$

Заметим, что в условных частях модулей m_i, lock и m_i, unlock оператор "подчеркивание", применяемый к выражению с квалифицированным оператором выбора $\forall$, подразумевается по умолчанию.

За рамки формализма СеАМ выходит следующее описание действий агентов блокировки и деблокировки. При реализации блокировок агент

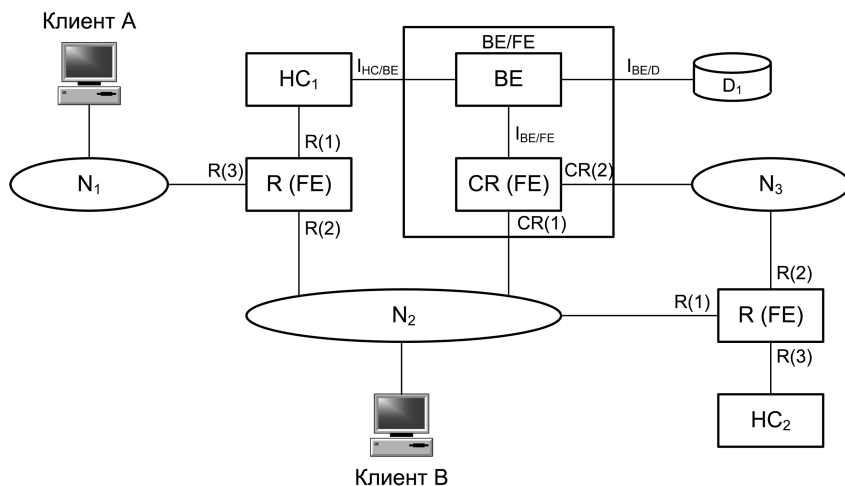


Рис. 2. Сеть хранения с непосредственным доступом к внешним запоминающим устройствам (виртуализация сети хранения на уровне ВЗУ)

$a_{mi, lock}$ клонируется, его клоны перемещаются на узлы, где находятся функции, и блокируют их. Затем клоны агента $a_{mi, lock}$ передают ему сообщение о завершении блокировок. Если хотя бы один клон не сможет заблокировать функцию, он передает соответствующее сообщение исходному агенту и самоуничтожается. Если исходный агент получает хотя бы одно сообщение о невозможности блокировок функций, он посылает команды на уничтожение всех своих клонов. Агент $a_{mi, unlock}$ деблокирует заблокированные ранее функции, посылая свои клоны на соответствующие узлы. Клоны деблокируют функции, извещают об этом агента-родителя и самоуничтожаются. В данном контексте предполагается, что множество функций содержит в числе прочих и высказывательные функции (предикаты).

Доступ к ВЗУ непосредственно со стороны сети позволяет в существенной степени повысить надежность системы внешнего хранения данных в целом и осуществить ее виртуализацию на уровне ВЗУ. На рис. 2 представлена сеть хранения подобного вида как вариант реализации сети, представленной на рис. 1. Здесь HC — хост-компьютер; BE — *back-end*-контроллер (или *back-end*-машина доступа к внешней памяти); FE — *front-end*-контроллер (маршрутизатор R хост-компьютера или контроллер-маршрутизатор CR ВЗУ), R(i) и CR(i) — порты маршрутизаторов; IHC/BE, IBE/D и IBE/FE — соответствующие интерфейсы. При отказе хост-компьютера HC₁ проводится реконфигурация сети, и внешняя память D₁ переходит в область управления другого хост-компьютера, например HC₂.

Интеграция различных технологий хранения данных, появление новой инфраструктуры систем

хранения приводит к необходимости дальнейшего развития средств спецификаций, моделирования и проектирования систем на ВЗУ. Многоуровневые сетевые RAID-массивы удобно специфицировать сетями сценариев и иерархическими сетями CeAM и PCeAM. Базовые модели, предлагаемые в данной работе, легко подвергаются расширению и модификации, что особенно удобно при проектировании сетей ВЗУ различных категорий.

Список литературы

1. Хэндлер В. Простота и гибкость в архитектуре параллельных вычислительных систем // Высокоскоростные вычисления. Архитектура, производительность, прикладные алгоритмы и программы суперЭВМ / Под ред. Я. Ковалика. М.: Радио и связь. 1988. С. 61—79.
2. Зинкин С. А. Сети абстрактных машин высших порядков в проектировании систем и сетей хранения и обработки данных (базовый формализм и его расширения) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2007. № 3. С. 13—22.
3. Зинкин С. А. Сети абстрактных машин высших порядков в проектировании систем и сетей хранения и обработки данных (механизмы интерпретации и варианты использования) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2007. № 4.
4. Зинкин С. А. Алгебра сценариев для спецификации операционной семантики активных сетей хранения и обработки данных // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. Пенза: Изд. Пенз. гос. ун-та. 2004. № 2. С. 96—107.
5. Зинкин С. А. Самомодифицируемые сценарные модели функционирования систем и сетей хранения и обработки данных (базовый формализм и темпоральные операции) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2007. № 1. С. 3—12.
6. Зинкин С. А. Самомодифицируемые сценарные модели функционирования систем и сетей хранения и обработки данных (реализация и свойства сценарных моделей) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2007. № 2. С. 13—21.
7. Дайлип Н. Системы хранения данных в Windows. М.: Вильямс, 2005. 432 с.
8. Фарли М. Сети хранения данных. М.: Лори, 2003. 550 с.
9. Gelernter D., Zuck L. D. On what Linda is: formal description of Linda as a reactive system // Lecture Notes in Computer Science, v. 1282. Proc. of the Second International Conference on Coordination Languages and Models, 1997. P. 187—204.
10. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
11. Gurevich Y. Draft of the ASM Guide, University of Michigan EECS Department Technical Report CSE-TR-336—97. May 1997. P. 1—27.
12. Плесневич Г. С. Логические модели // Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Радио и связь, 1990. С. 14—28.
13. Воеводин В. В. Курс лекций "Параллельная обработка данных". Лекция 7: "Система параллельного программирования Linda". (<http://parallel.ru/vvv/index.html>).
14. Глушков В. М., Цейтлин Г. Е., Ющенко Е. Л. Методы символьной мультиобработки. Киев: Наукова думка, 1980. 252 с.
15. Капитонова Ю. В., Летичевский А. А. Математическая теория проектирования вычислительных систем. М.: Наука, 1988. 296 с.

Д. В. Андреев, канд. техн. наук, проф.,
Ульяновский государственный
технический университет

Цифровые процессоры с одномерной структурой для сортировки многозначных данных

Представлены схемные решения и изложено математическое обоснование результатов работы одномерных процессоров, предназначенных для сортировки многозначных данных (m -разрядных двоичных переменных). Рассмотрены особенности настройки этих процессоров на преобразование несортированного последовательного (параллельного) набора указанных переменных в их сортированный по их ранговым признакам параллельный (последовательный) набор.

Ключевые слова: систолические процессоры, сортировка, многозначные данные.

Введение

Сортировка (упорядочение) данных широко применяется при решении многих задач информатики, в частности, таких, например, как реализация операций реляционной алгебры в машинах баз данных, обработка списков в вычислительных системах, предварительная обработка обучающей выборки в классификаторах наблюдений и др. [1–3]. В упомянутых задачах данные, подлежащие сортировке, в подавляющем большинстве случаев представлены двоичным кодом, т. е. являются многозначными.

Процессоры для сортировки многозначных данных могут быть построены на основе систематизированных в известной работе Д. Кнута [4] принципов организации сетей сортировки. Однако процессоры, построенные на таких принципах, будут иметь сложную (двумерную) структуру.

Предлагаются процессоры с более простой (одномерной) структурой, которые реализуют операции $g_1^n, \dots, g_n^n$, где $g_r^n(x_1, \dots, x_n) = x^{(r)}$ является операцией выбора из множества многозначных переменных $x_1, \dots, x_n$ переменной $x^{(r)}$ заданного ранга $r = \overline{1, n}$ ($x^{(1)} \leq \dots \leq x^{(n)}$, $\{x^{(1)}\} \cup \dots \cup \{x^{(n)}\} = \{x_1, \dots, x_n\}$). Необходимо отметить, что операция $g_r^n(x_1, \dots, x_n) = x^{(r)}$ явно выражается через базовые функции бесконечнозначной логики (БЛ) в следующей дизъюнктивной нормальной форме [5]:

$$g_r^n = \bigvee_{k=1}^N x_{k1} \dots x_{kq}, \quad (1)$$

где символом $\bigvee$ обозначена БЛ-дизъюнкция (max); $q = n + 1 - r$; $x_{k1}, \dots, x_{kq} \in \{x_1, \dots, x_n\}$, $1 \leq k1 < \dots < kq \leq n$; $N = C_n^q$ — число неповторяющихся БЛ-конъюнкций $x_{k1} \dots x_{kq} = \min(x_{k1}, \dots, x_{kq})$, определяемое как число сочетаний из n по q .

Универсальный одномерный процессор сортировки многозначных данных

Рассмотрим схему процессора $F(n)$, приведенную на рис. 1. Этот процессор состоит из n логических ячеек LC_i , каждая из которых содержит мультиплексор MS , регистр RG , логические элементы MAX [6] и MIN [7], воспроизводящие базовые функции бесконечнозначной логики: соответственно БЛ-дизъюнкцию и БЛ-конъюнкцию. На рис. 2 представлены временные диаграммы цифровых управляющих сигналов $y_1, y_2 \in \{0, 1\}$, причем длительность T^* высокого уровня сигнала y_1 и период T сигнала y_2 должны удовлетворять условиям $T^* > \Delta t^*$ и $T > \Delta t$, где $\Delta t^* = \tau_{MS} + n\tau_L$, $\Delta t = \tau_{RG} + \tau_{MS} + n\tau_L$. В последних равенствах τ_{RG} , τ_{MS} и τ_L есть длительности задержек, вносимых регистром, мультиплексором и БЛ-элементом. Входные m -разрядные двоичные переменные V_{i0} и W_{0j} подаются на рассматриваемый процессор,

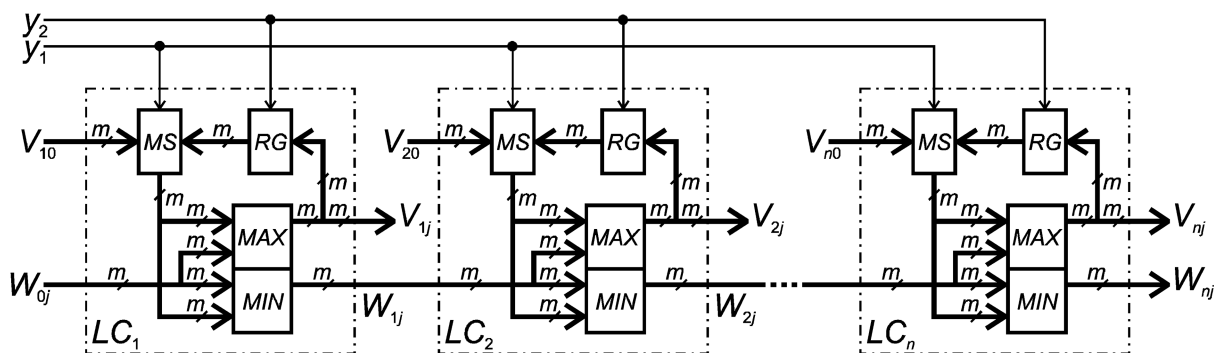


Рис. 1. Схема процессора $F(n)$

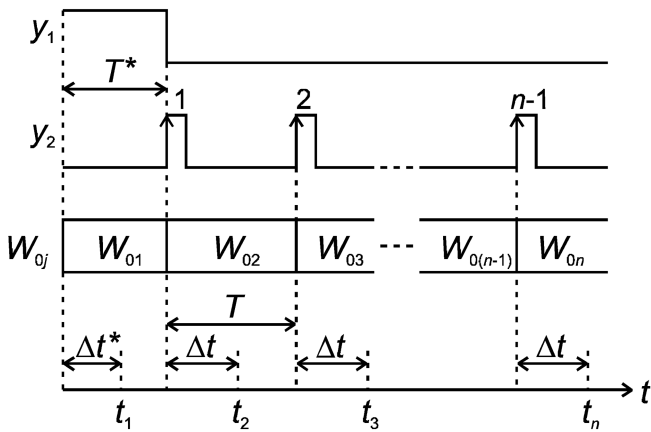


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы процессора $F(n)$

соответственно, в течение времени действия высокого уровня сигнала y_1 согласно рис. 2. Здесь и далее загрузка данных в регистр RG происходит по положительному перепаду (из "0" в "1") сигнала на входе записи (сигнала y_2), а при $y_1 = 1$ ($y_1 = 0$) к m -разрядному выходу мультиплексора MS подключен его левый (правый) m -разрядный вход. Тогда математическая модель ячейки LC_i ($i = \overline{1, n}$) будет определяться рекуррентными выражениями

$$W_{ij} = W_{(i-1)j} V_{i(j-1)}; \quad (2a)$$

$$V_{ij} = W_{(i-1)j} \vee V_{i(j-1)}, \quad (2б)$$

где $j = \overline{1, n}$ есть номер момента времени t_j (рис. 2).

Утверждение 1. Для любой рекуррентной функции V_{ij} ($i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$) при $V_{i0} = x_{\min}$, $W_{0j} = x_j$ ($x_j \geq x_{\min}$ — многозначные переменные) имеет место равенство

$$V_{ij} = \begin{cases} x_{\min} & \text{при } i > j; \\ g_{j+1-i}^j & \text{при } i \leq j, \end{cases} \quad (3)$$

где $g_{j+1-i}^j = x^{(j+1-i)}$ есть операция выбора из множества многозначных переменных $x_1, \dots, x_j$ переменной $x^{(j+1-i)}$ ($j+1-i$)-го ранга ($x^{(1)} \leq \dots \leq x^{(j)}$, $\{x^{(1)}\} \cup \dots \cup \{x^{(j)}\} = \{x_1, \dots, x_j\}$).

Доказательство указанного утверждения проведем методом математической индукции, предварительно исключив W из (2б). Поскольку с учетом (2a) имеем

$$\begin{aligned} W_{(i-1)j} &= W_{(i-2)j} V_{(i-1)(j-1)} = \\ &= W_{(i-3)j} V_{(i-2)(j-1)} V_{(i-1)(j-1)} = \\ &= W_{0j} V_{1(j-1)} \dots V_{(i-1)(j-1)} = \\ &= x_j V_{1(j-1)} \dots V_{(i-1)(j-1)}, \end{aligned}$$

то для (2б) можно записать

$$V_{ij} = x_j V_{1(j-1)} \dots V_{(i-1)(j-1)} \vee V_{i(j-1)}. \quad (4)$$

Согласно (4) и (1) при $j = 1$, $i = \overline{1, n}$, получаем $V_{11} = x_1 \vee V_{10} = x_1 \vee x_{\min} = x_1 = g_1^1$; $V_{21} = x_1 V_{10} \vee V_{20} = x_1 x_{\min} \vee x_{\min} = x_{\min}$; $\dots$; $V_{n1} = x_1 V_{10} \dots V_{(n-1)0} \vee V_{n0} = x_1 x_{\min} \vee x_{\min} = x_{\min}$. Следовательно, при $j = 1$ утверждение 1 справедливо.

Теперь предположим, что

$$\begin{aligned} V_{1m} &= g_m^m; V_{2m} = g_{m-1}^m; \dots; V_{mm} = g_1^m; \\ V_{(m+1)m} &= x_{\min}; \dots; V_{nm} = x_{\min}, \end{aligned} \quad (5)$$

т. е. что утверждение 1 верно для некоторого $j = m$. Тогда для $j = m+1$ с учетом (4), (5) и (1) получаем

$$\begin{aligned} V_{1(m+1)} &= x_{m+1} \vee V_{1m} = x_{m+1} \vee g_m^m = \\ &= x_{m+1} \vee x_1 \vee \dots \vee x_m = g_{m+1}^{m+1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{2(m+1)} &= x_{m+1} V_{1m} \vee V_{2m} = \\ &= x_{m+1} g_m^m \vee g_{m-1}^m = x_{m+1} (x_1 \vee \dots \vee x_m) \vee \\ &\vee x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee \dots \vee x_{m-1} x_m = g_{m+1}^{m+1}; \end{aligned} \quad (6)$$

...

$$\begin{aligned} V_{(m+1)(m+1)} &= x_{m+1} V_{1m} \dots V_{mm} \vee V_{(m+1)m} = \\ &= x_{m+1} g_m^m \dots g_1^m \vee x_{\min} = x_{m+1} g_1^m = \\ &= x_{m+1} x_1 \dots x_m = g_{m+1}^{m+1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{(m+2)(m+1)} &= x_{m+1} V_{1m} \dots V_{(m+1)m} \vee \\ &\vee V_{(m+2)m} = x_{m+1} V_{1m} \dots V_{mm} x_{\min} \vee x_{\min} = x_{\min}; \end{aligned}$$

$$V_{n(m+1)} = x_{m+1} V_{1m} \dots V_{(n-1)m} \vee V_{nm} = x_{\min}.$$

Из соотношений (6) следует справедливость равенства (3) при $j = m+1$. Утверждение 1 доказано.

Пример 1. В табл. 1 приведены формулы, которые иллюстрируют утверждение 1, если $n = 4$.

Утверждение 2. Для любой рекуррентной функции W_{ij} ($i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$) при $V_{i0} = x_i$, $W_{0j} = x_{\max}$ ($x_i \leq x_{\max}$ — многозначные переменные) имеет место равенство

$$W_{ij} = \begin{cases} x_{\max} & \text{при } j > i; \\ g_j^i & \text{при } j \leq i, \end{cases} \quad (7)$$

где $g_j^i = x^{(i)}$ есть операция выбора из множества многозначных переменных $x_1, \dots, x_i$ переменной $x^{(i)}$ j -го ранга ($x^{(1)} \leq \dots \leq x^{(i)}$, $\{x^{(1)}\} \cup \dots \cup \{x^{(i)}\} = \{x_1, \dots, x_i\}$).

При доказательстве данного утверждения также воспользуемся методом математической индукции, предварительно исключив V из (2a). Поскольку с учетом (2б) имеем

Формулы, полученные из выражения (4) при $n = 4$, $V_{i0} = x_{\min}$

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	$V_{11} = x_1 = g_1^1$	$V_{12} = x_1 \vee x_2 = g_2^2$	$V_{13} = x_1 \vee x_2 \vee x_3 = g_3^3$	$V_{14} = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 = g_4^4$
2	$V_{21} = x_{\min}$	$V_{22} = x_1 x_2 = g_1^2$	$V_{23} = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_2 x_3 = g_2^3$	$V_{24} = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_1 x_4 \vee x_2 x_3 \vee x_2 x_4 \vee x_3 x_4 = g_3^4$
3	$V_{31} = x_{\min}$	$V_{32} = x_{\min}$	$V_{33} = x_1 x_2 x_3 = g_1^3$	$V_{34} = x_1 x_2 x_3 \vee x_1 x_2 x_4 \vee x_1 x_3 x_4 \vee x_2 x_3 x_4 = g_2^4$
4	$V_{41} = x_{\min}$	$V_{42} = x_{\min}$	$V_{43} = x_{\min}$	$V_{44} = x_1 x_2 x_3 x_4 = g_1^4$

$$\begin{aligned} V_{i(j-1)} &= W_{(i-1)(j-1)} \vee V_{i(j-2)} = \\ &= W_{(i-1)(j-1)} \vee W_{(i-1)(j-2)} \vee V_{i(j-3)} = \\ &= W_{(i-1)(j-1)} \vee \dots \vee W_{(i-1)1} \vee V_{i0} = \\ &= x_i \vee W_{(i-1)1} \vee \dots \vee W_{(i-1)(j-1)}, \end{aligned}$$

то для (2a) можно записать

$$W_{ij} = (x_i \vee W_{(i-1)i} \vee \dots \vee W_{(i-1)(j-1)}) W_{(i-1)j}. \quad (8)$$

Когда $i = 1$ и $j = \overline{1, n}$, утверждение 2 справедливо, так как согласно (8) и (1) получаем

$$W_{11} = x_1 W_{01} = x_1 x_{\max} = x_1 = g_1^1;$$

$$W_{12} = (x_1 \vee W_{01}) W_{02} = (x_1 \vee x_{\max}) x_{\max} = x_{\max}; \dots;$$

$$\begin{aligned} W_{1n} &= (x_1 \vee W_{01} \vee \dots \vee W_{0(n-1)}) W_{0n} = \\ &= (x_1 \vee x_{\max}) x_{\max} = x_{\max}. \end{aligned}$$

Предположим теперь, что утверждение 2 верно для некоторого $i = m$, т. е.

$$\begin{aligned} W_{m1} &= g_1^m; W_{m2} = g_2^m; \dots; W_{mm} = g_m^m; \\ W_{m(m+1)} &= x_{\max}; \dots; W_{mn} = x_{\max}. \end{aligned} \quad (9)$$

Тогда при $i = m + 1$ с учетом (8), (9) и (1) можно записать

$$\begin{aligned} W_{(m+1)1} &= x_{m+1} W_{m1} = \\ &= x_{m+1} g_1^m = x_{m+1} x_1 \dots x_m = g_1^{m+1}; \\ W_{(m+1)2} &= (x_{m+1} \vee W_{m1}) W_{m2} = \\ &= (x_{m+1} \vee g_1^m) g_2^m = x_{m+1} g_2^m \vee g_1^m = \\ &= x_{m+1} (x_2 x_3 \dots x_m \vee x_1 x_3 \dots x_m \vee \dots \vee x_1 x_2 \dots x_{m-1}) \vee \\ &\quad \vee x_1 \dots x_m = g_2^{m+1}; \\ &\dots \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} W_{(m+1)(m+1)} &= (x_{m+1} \vee W_{m1} \vee \dots \vee \\ &\vee W_{mm}) W_{m(m+1)} = (x_{m+1} \vee g_1^m \vee \dots \vee g_m^m) x_{\max} = \\ &= x_{m+1} \vee g_m^m = x_{m+1} \vee x_1 \vee \dots \vee x_m = g_{m+1}^{m+1}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{(m+1)(m+2)} &= (x_{m+1} \vee W_{m1} \vee \dots \vee \\ &\vee W_{m(m+1)}) W_{m(m+2)} = (x_{m+1} \vee W_{m1} \vee \dots \vee \\ &\vee W_{mm} \vee x_{\max}) x_{\max} = x_{\max}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\dots \\ W_{(m+1)n} &= x_{m+1} \vee W_{m1} \vee \dots \vee \\ &\vee W_{m(n-1)} W_{mn} = x_{\max}. \end{aligned}$$

Из соотношений (10) следует, что равенство (7) остается справедливым и для $i = m + 1$. Утверждение 2 доказано.

Пример 2. В табл. 2 приведены формулы, которые иллюстрируют утверждение 2 при $n = 4$.

Доказанные утверждения позволяют сделать вывод, что если $j = n$, то согласно утверждению 1 имеем $V_{1n} = g_n^n = x^{(n)}$, ..., $V_{nn} = g_1^n = x^{(1)}$, т. е. процессор $F(n)$ (см. рис. 1) при

$$V_{i0} = x_{\min}, W_{0j} = x_j \geq x_{\min} \quad (11a)$$

выполняет преобразование несортированного последовательного набора входных многозначных переменных $x_1, \dots, x_n$, поступающих на нижний m -разрядный вход ячейки LC_1 , в их сортированный по ранговым признакам параллельный набор, который формируется на верхних m -разрядных выходах ячеек $LC_1, \dots, LC_n$. И если $i = n$, то с учетом утверждения 2 можно записать:

$$W_{n1} = g_1^n = x^{(1)}, \dots, W_{nn} = g_n^n = x^{(n)},$$

т. е. когда

Таблица 2

Формулы, полученные из выражения (8) при $n = 4$, $W_{0j} = x_{\max}$

$j \backslash i$	1	2	3	4
1	$W_{11} = x_1 = g_1^1$	$W_{21} = x_1 x_2 = g_1^2$	$W_{31} = x_1 x_2 x_3 = g_1^3$	$W_{41} = x_1 x_2 x_3 x_4 = g_1^4$
2	$W_{12} = x_{\max}$	$W_{22} = x_1 \vee x_2 = g_2^2$	$W_{32} = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_2 x_3 = g_2^3$	$W_{42} = x_1 x_2 x_3 \vee x_1 x_2 x_4 \vee x_1 x_3 x_4 \vee x_2 x_3 x_4 = g_2^4$
3	$W_{13} = x_{\max}$	$W_{23} = x_{\max}$	$W_{33} = x_1 \vee x_2 \vee x_3 = g_3^3$	$W_{43} = x_1 x_2 \vee x_1 x_3 \vee x_1 x_4 \vee x_2 x_3 \vee x_2 x_4 \vee x_3 x_4 = g_3^4$
4	$W_{14} = x_{\max}$	$W_{24} = x_{\max}$	$W_{34} = x_{\max}$	$W_{44} = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \vee x_4 = g_4^4$

$$V_{i0} = x_i, \quad W_{0j} = x_{\max} \geq x_i, \quad (11б)$$

процессор $F(n)$ будет выполнять преобразование несортированного параллельного набора многозначных переменных $x_1, \dots, x_n$, поступающих на верхние m -разрядные входы ячеек $LC_1, \dots, LC_n$, в последовательный набор этих переменных, который сортирован по их ранговым признакам и формируется на нижнем m -разрядном выходе ячейки LC_n .

В смысле выполняемых преобразований процессор $F(n)$ является универсальным устройством сортировки многозначных данных, настраиваемым на определенный вид преобразования без каких-либо изменений исходной структуры.

Из (11) следует еще одно важное свойство процессора $F(n)$, заключающееся в возможности одновременного выполнения сортировки последовательного набора $W_{01} = x_1, \dots, W_{0n} = x_n$ и сортировки параллельного набора $V_{10} = z_1, \dots, V_{n0} = z_n$, в котором многозначные переменные $z_1, \dots, z_n$ удовлетворяют условию $\max(z_1, \dots, z_n) \leq \min(x_1, \dots, x_n)$.

Последовательно-параллельный и параллельно-последовательный одномерные процессоры сортировки многозначных данных

Если из схемы, представленной на рис. 1, удалить ячейку LC_n и расщепить нижний m -разрядный вход оставшихся ячеек, то приходим к схеме процессора $F^*(n)$, представленной на рис. 3. Временные диаграммы сигналов y_1, y_2 , управляющих работой процессора $F^*(n)$, соответствуют рис. 2, однако здесь $\Delta t^* = \tau_{MS} + 2\tau_L$, $\Delta t = \tau_{RG} + \tau_{MS} + 2\tau_L$, где τ_{RG} , τ_{MS} и τ_L по-прежнему есть длительности задержек, вносимых регистром, мультиплексором и БЛ-элементом. Математическая модель ячейки LC_i ($i = \overline{1, n-1}$) процессора $F^*(n)$

определяется следующими рекуррентными выражениями:

$$W_{ij} = W_{0j}V_{i(j-1)}; \quad (12a)$$

$$V_{ij} = W_{(i-1)j} \vee V_{i(j-1)}, \quad (12б)$$

где $j = \overline{1, n}$ есть номер момента времени t_j (см. рис. 2); $W_{0j} = x_j$ и $V_{i0} = x_{\min} \leq x_j$ есть входные m -разрядные двоичные переменные, подаваемые на рассматриваемый процессор согласно рис. 2 и в течение времени действия высокого уровня сигнала y_1 соответственно. Подставив (12a) в (12б), получим

$$V_{ij} = x_j V_{(i-1)(j-1)} \vee V_{i(j-1)}. \quad (13)$$

Утверждение 3. Для любой реализуемой процессором $F^*(n)$ рекуррентной функции V_{ij} ($j = \overline{1, n}$, $i = \overline{1, n-1}$, $i \leq j$) имеет место равенство

$$V_{ij} = g_{j+1-i}^j,$$

где $g_{j+1-i}^j = x^{(j+1-i)}$ есть операция выбора из множества многозначных переменных $x_1, \dots, x_j$ переменной $x^{(j+1-i)}$ ($j+1-i$ -го ранга ($x^{(1)} \leq \dots \leq x^{(j)}$, $\{x^{(1)}\} \cup \dots \cup \{x^{(j)}\} = \{x_1, \dots, x_j\}$).

Справедливость этого утверждения следует из соотношения (4), которое с учетом утверждения 1 при $i \leq j$ принимает вид

$$\begin{aligned} g_{j+1-i}^j &= x_j g_{j-1-i}^{j-1} \dots g_{j-i+1}^{j-i+1} \vee V_{i(j-1)} = \\ &= x_j V_{(i-1)(j-1)} \vee V_{i(j-1)}. \end{aligned}$$

Поскольку правая часть последнего равенства совпадает с правой частью соотношения (13), то утверждение 3 доказано.

Утверждение 4. Для любой реализуемой процессором $F^*(n)$ рекуррентной функции $W_{ij} = (i = \overline{1, n-1}, j = \overline{1, i+1})$ имеет место равенство

$$W_{ij} = \begin{cases} x_{\min} & \text{при } j \leq i; \\ g_1^j & \text{при } j = i+1, \end{cases} \quad (14)$$

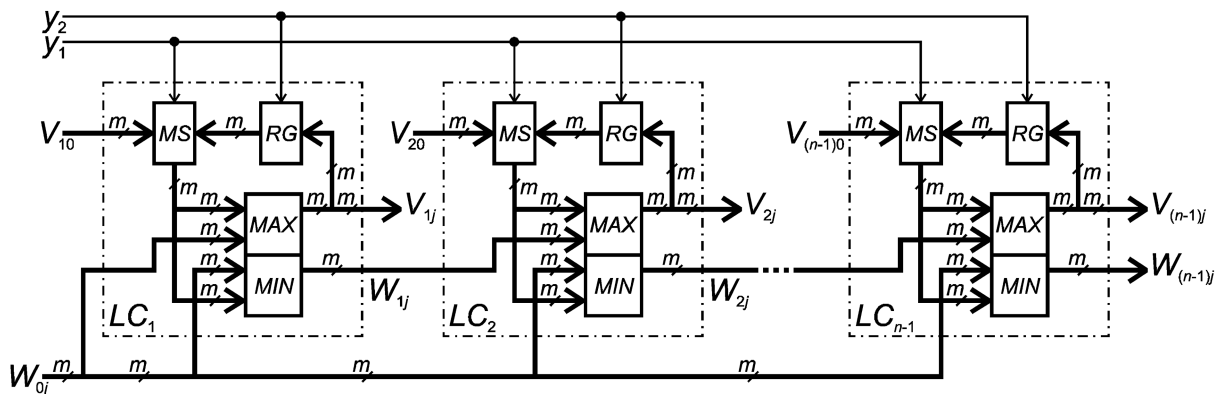


Рис. 3. Схема процессора $F^*(n)$

где $g_1^{(i+1)} = x^{(1)}$ есть операция выбора из множества многозначных переменных $x_1, \dots, x_{i+1}$ переменной $x^{(1)} = \min(x_1, \dots, x_{i+1})$.

Доказательство основывается на математической индукции. Предварительно преобразуем (12а) с учетом (12б) к следующему виду:

$$W_{ij} = W_{0j}(V_{i0} \vee W_{(i-1)1} \vee \dots \vee W_{(i-1)(j-1)}) = x_j(x_{\min} \vee W_{(i-1)1} \vee \dots \vee W_{(i-1)(j-1)}). \quad (15)$$

Согласно (15) и (1) при $i = 1, j = \overline{1, 2}$, получаем

$$W_{11} = x_1 x_{\min} = x_{\min}; \\ W_{12} = x_2 W_{01} = x_1 x_2 = g_1^2. \quad (16)$$

Теперь предположим, что равенство (14) справедливо при $i = m$, т. е.

$$W_{m1} = x_{\min}; \dots; W_{mm} = x_{\min}; \\ W_{m(m+1)} = g_1^{m+1}. \quad (17)$$

Тогда для $i = m + 1$ с учетом (15), (17) и (1) имеем

$$W_{(m+1)1} = x_1 x_{\min} = x_{\min}; \\ W_{(m+1)2} = x_2 W_{m1} = x_{\min}; \\ \dots \\ W_{(m+1)(m+1)} = x_{m+1}(W_{m1} \vee \dots \vee W_{mm}) = x_{\min}; \\ W_{(m+1)(m+2)} = x_{m+2}(W_{m1} \vee \dots \vee W_{mm} \vee W_{m(m+1)}) = x_{m+2} g_1^{m+1} = \\ = x_{m+2} x_1 \dots x_{m+1} = g_1^{m+2}. \quad (18)$$

Соотношения (16) и (18) обосновывают справедливость равенства (14) при $i = 1$ и $i = m + 1$. Утверждение 4 доказано.

Из утверждений 3, 4 следует, что если $j = n$, то $V_{1n} = g_n^n = x^{(n)}$, ..., $V_{(n-1)n} = g_2^n = x^{(2)}$, $W_{(n-1)n} = g_1^n = x^{(1)}$. Следовательно, процессор $F^*(n)$ (рис. 3) при $V_{i0} = x_{\min}$, $W_{0j} = x_j \geq x_{\min}$ выполняет преобразование несортированного последовательного набора многозначных переменных $W_{01} = x_1, \dots, W_{0n} = x_n$ в их сортированный по ранговым признакам параллельный набор.

По сравнению со схемой, приведенной на рис. 1, последовательно-параллельный процессор $F^*(n)$ имеет меньший аппаратный состав и обладает более высоким быстродействием, обусловленным тем, что при равенстве длительностей фазы параллельной работы логических ячеек длительности фазы их последовательной работы в процессорах $F(n)$ и $F^*(n)$ определяются соответственно выражениями $\Delta t_{\text{Пс}} = n\tau_L$ и $\Delta t_{\text{Пс}} = 2\tau_L$, где τ_L есть длительность задержки, вносимой элементом бесконечнозначной логики. Недостатком процессора $F^*(n)$ является невозможность выполнения сортировки параллельного набора многозначных переменных.

Обратимся еще раз к рекуррентному соотношению (8). Представим его с учетом утверждения 2 при $j \leq i$ в следующем виде:

$$W_{ij} = (x_i \vee g_1^{i-1} \vee \dots \vee g_{j-1}^{i-1}) W_{(i-1)j} = \\ = (x_i \vee W_{(i-1)(j-1)}) W_{(i-1)j} = g_j^i, \quad (19)$$

где $W_{0j} = x_{\max}$, $W_{(i-1)0} = x_{\min}$.

Таким образом, рекуррентное выражение

$$W_{ij} = (x_i \vee W_{(i-1)(j-1)}) W_{(i-1)j} \quad (20)$$

при $i = n, j = \overline{1, n}$, $W_{0j} = x_{\max}$ и $W_{(i-1)0} = x_{\min}$ задает алгоритм сортировки многозначных переменных $x_1, \dots, x_n \in \{x_{\min}, \dots, x_{\max}\}$.

На рис. 4 и рис. 5 приведены схема процессора $F^{**}(n)$, построенная в соответствии с рекуррентной процедурой (20), и временные диаграммы управляющих сигнала $y \in \{0, 1\}$ и m -разрядной двоичной переменной $x \in \{x_{\min}, x_{\max}\}$. Здесь сортируемые многозначные данные не должны изменяться в течение их сортировки и представлены также m -разрядными двоичными переменными, а временной интервал T^* и период T сигнала y должны удовлетворять условиям $T^* > n\tau_{\text{MIN}}$ и $T > \Delta t = \tau_{\text{RG}} + \tau_{\text{MAX}} + n\tau_{\text{MIN}}$, где τ_{RG} , τ_{MAX} и τ_{MIN} — длительности задержек, вносимых регистром, элементами MAX и MIN. Тогда в момент времени t_j (рис. 5) на m -разрядном выходе ячейки LC_n согласно (19) имеем $W_{nj} = g_j^n = x^{(j)}$, т. е. при $j = \overline{1, n}$ процессор $F^{**}(n)$ выполняет преобразова-

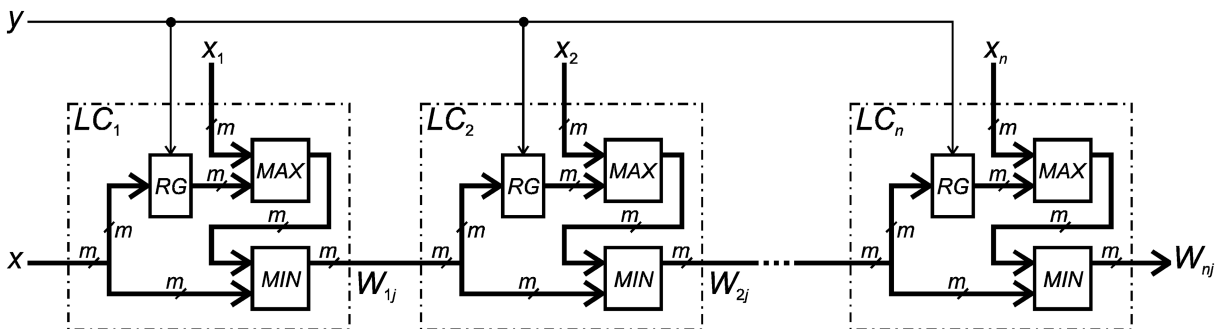


Рис. 4. Схема процессора $F^{**}(n)$

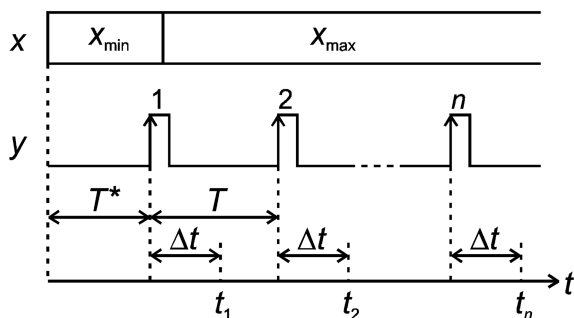


Рис. 5. Временные диаграммы, поясняющие принцип работы процессора $F^{**}(n)$

ние поступившего на верхние m -разрядные входы ячеек $LC_1, \dots, LC_n$ несортированного параллельного набора многозначных переменных $x_1, \dots, x_n$ в их сортированный по ранговым признакам последовательный набор, который формируется на m -разрядном выходе ячейки LC_n .

Указанный параллельно-последовательный процессор не обеспечивает сортировку последовательного набора многозначных переменных, однако имеет меньший по сравнению со своим аналогом (см. рис. 1) аппаратный состав логических ячеек, поскольку в них отсутствуют мультиплексоры.

Заключение

Все рассмотренные в статье процессоры обладают одномерной структурой и выполняют сортировку многозначных данных. Принцип действия рассмотренных процессоров основан на сочетании параллелизма и конвейеризации, которые совместно с однородностью (на уровне ячеек) струк-

туры и регулярностью связей позволяют в соответствии с [8] классифицировать эти процессоры как систолические средства обработки информации. Хорошо известно, что упомянутые средства идеально подходят для аппаратного воплощения в однокристалльном исполнении (в виде СБИС).

Решаемая в статье задача сортировки формулируется применительно не только к данным, представленным в двоичном коде (многозначным переменным), но и к непрерывным переменным, поэтому здесь уместно отметить работы автора [9, 10], в которых предложены схемотехнические решения систолических процессоров, сортирующих непрерывные данные.

Список литературы

1. Озкарахан Э. Машины баз данных и управление базами данных. М.: Мир, 1989. 696 с.
2. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т. 1. Основные алгоритмы. М.: Мир, 1978. 734 с.
3. Коваленко А. П. Параллельный классификатор по правилу k_n ближайших соседей // Автоматика и телемеханика. 1995. № 1. С. 157—165.
4. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. Т. 3. Сортировка и поиск. М.: Мир, 1978. 844 с.
5. Левин В. И. Бесконечнозначная логика в задачах кибернетики. М.: Радио и связь, 1982. 176 с.
6. Патент РФ № 2300135. Устройство селекции большего из двух двоичных чисел / Д. В. Андреев. Заявлено 10.01.2006. Опубликовано 27.05.2007. Бюл. № 15.
7. Патент РФ № 2300130. Устройство селекции меньшего из двух двоичных чисел / Д. В. Андреев. Заявлено 10.01.2006. Опубликовано 27.05.2007. Бюл. № 15.
8. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. М.: Мир, 1991. 672 с.
9. Андреев Д. В. Рекуррентные алгоритмы и систолические процессоры для реализации функций порядковой логики // Управляющие системы и машины. 2005. № 5. С. 57—61.
10. Патент РФ № 2284573. Ранговый сортировщик / Д. В. Андреев. Заявлено 07.06.2005. Опубликовано 27.09.2006. Бюл. № 27.

НЕЙРОСЕТИ

УДК 621.391;510.21;519.245

Г. Ф. Малыхина, д-р техн. наук, проф., А. В. Меркушева, канд. техн. наук, инженер-исследователь, Санкт-Петербургский политехнический университет

Сеть с габоровской функцией преобразования нейронов и метод классификации объектов дистанционного наблюдения

Рассмотрена и проанализирована сеть с функцией преобразования нейронов (ФПН) на основе время-частотного преобразования Габора. Сеть реализует извлечение признаков и последующую классификацию многомерного вектора параметров, присущих контролируемому объекту. Специфика ФПН, использующей временной сдвиг, частотную модуляцию и масштабирование Гауссовой функции, и выбранная структура нейронной сети делают ее приспособленной для распознавания дистанционно контролируемых объектов.

Ключевые слова: нейронная сеть, преобразование Габора, многомерная классификация, распознавание, алгоритм обучения, адаптация, оптимизация, кластер сетей, физическая интерпретация.

Введение

Классификация сигнала включает две фазы: извлечение признаков (набор их существенно меньше размерности сигнала) и процедуру классификации, основанную на полученном наборе признаков. Первая фаза — это представление сигнала вектором признаков. В качестве вектора могут быть использованы коэффициенты разложения сигнала. Такие коэффициенты позволяют получить несколько время-частотных преобразований (преобразование Вигнера—Вилле, Габора, кратковременное преобразование Фурье) и время-масштабных преобразований (преобразование Бертрана, вейвлет-преобразование) [1—6]. Однако исследования по согласованному многоканальному разделению сигнала [7—9] для ряда приложений указывают на определенные преимущества использования разложения Габора.

Повышению эффективности анализа сигнала может служить расширение двумерной время-частотной плоскости до трехмерного пространства: время—частота—масштаб. Такое обобщение при классификации сигнала позволяет использовать больший объем информации. Эта идея применима для построения сети с габоровской функцией преобразования нейронов (сети с ГФПН). Сеть выполняет как извлечение признаков (представление) входного сигнала, так и его классификацию. При этом первая фаза анализа выполняется на входном слое сети, а классификация осуществляется скрытым и выходным слоями. С точки зрения структуры, сеть с ГФПН — это многослойный персептрон с прямым распространением сигнала [10].

Исследование свойств сети показывает возможность ее использования для детектирования и распознавания наземных транспортных объектов при их дистанционном зондировании. Для этого необходимо, чтобы анализируемые сетью сигналы отражали особенности контролируемого объекта как единой совокупности отражателей — элементов его конструкции.

Преобразование Габора и элементы адаптации время-частотного представления сигнала

Преобразование Габора (ПГ) сигнала $f(t)$ дает его представление в виде дискретного ряда

$$f(t) = \sum_m \sum_n c_{m,n} g_{m,n}(t). \quad (1)$$

Здесь $g_{m,n}(t) = g(t - mT) \exp(jn\Omega t)$; $c_{m,n} = \int f(t) h_{m,n}^*(t) dt$; $h_{m,n}(t) = h(t - mT) \exp(jn\Omega t)$; h — функция-прототип; T — интервал дискретизации сигнала; Ω — интервал отсчетов частоты.

Ряд включает набор, состоящий из функции-прототипа с дискретными значениями временного сдвига и частотной модуляции. Компоненты ряда хорошо локализованы на время-частотной плоскости.

Собственно, преобразование Габора сигнала $f(t)$ определяется последними двумя соотношениями из формулы (1). Для ПГ требуется, чтобы интервал дискретизации сигнала T и интервал Ω отсчетов частоты удовлетворяли соотношению $T\Omega \leq 2\pi$.

Для адекватного полного восстановления сигнала по коэффициентам его разложения с помощью ПГ необходимо, чтобы функции $g(t)$ и $h(t)$ удовлетворяли условию биортогональности:

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(t) g^*(t - mT) \exp(-jn\Omega t) dt = \delta_m \delta_n, \quad (2)$$

где δ_n — символ Кронекера: $\delta_n = 0$ при $n \neq 0$.

При дистанционном контроле и классификации объектов, характеристики которых значительно различаются, метод представления анализируемого сигнала на стадии выделения признаков должен включать элементы адаптации. На уровне вычислительных алгоритмов предложены подходы к адаптивному время-частотному представлению сигнала [11, 12]. Для разложения сигнала использовался базис $\{g_p(t)\}$ в виде модулированных гауссианом экспоненциалов при подходящем выборе стандартного отклонения σ_p и время-частотного центра (t_p, f_p) :

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} B_p g_p(t), \quad (3)$$

где $g_p(t) = (\pi \sigma_p^2)^{-0,25} \exp\left[-\frac{(t-t_p)^2}{2\sigma_p^2}\right] \exp(j2\pi f_p t)$;

B_p — коэффициент разложения.

Если при разложении сигнала по соотношению (1) использовать $g_p(t)$ в качестве базисной функции и изменять значение параметра σ_p , то будет получено несколько разложений Габора, которые составляют некоторый объем в пространстве параметров: время—частота—параметр масштаба (рис. 1).

Таким же образом, вейвлет-преобразование с определенной (постоянной) вейвлет-функцией в

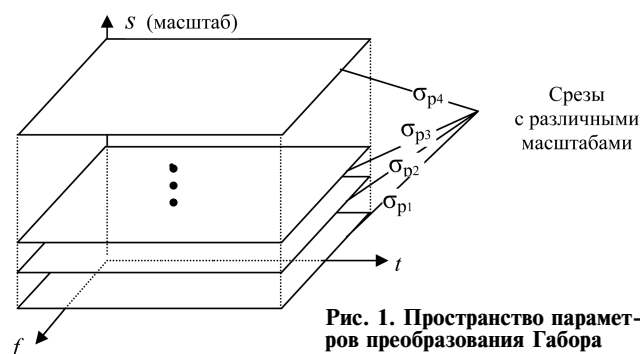


Рис. 1. Пространство параметров преобразования Габора

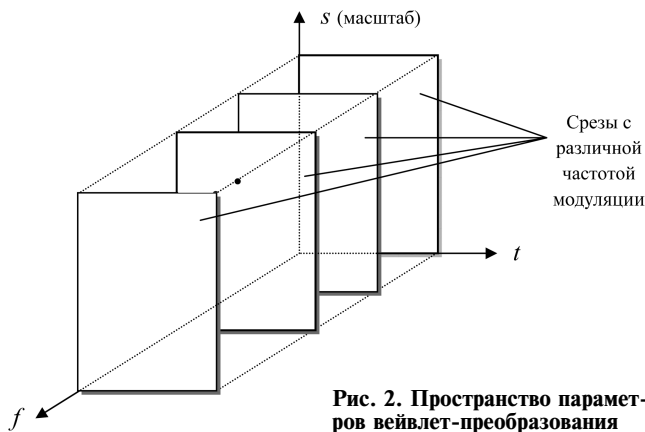


Рис. 2. Пространство параметров вейвлет-преобразования

пространстве время—частота—масштаб (рис. 2) является срезом с нулевой частотой модуляции.

Если принять, что $\sigma_p^2 = \frac{s^2}{2\pi}$ при $s > 0$, $t_p = u$ и $\xi = 2\pi f_p$, то базисная функция $g_p(t)$ преобразования Габора в (3) получит более простое выражение:

$$g_{u, \xi, s}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} g\left(\frac{t-u}{s}\right) \exp(j\xi t), \quad (4)$$

где $g(t) = \sqrt[4]{2} \exp(j\xi t)$ — прототип базисных функций ПГ. (Эти базисные функции соответствуют всему объему пространства параметров ПГ, показанному на рис. 1.)

Описанный подход к получению адаптивной формы представления сигнала в пространстве время—частота—масштаб (ВЧМ) с учетом больших вычислительных затрат не является продуктивным. Но поскольку с точки зрения классификации сигнала трехмерное пространство ВЧМ позволяет использовать больше информации, чем двумерное пространство время — частота, то целесообразно найти метод, который позволит определять несколько оптимальных базисных функций $g_{k, \text{опт}}(t)$, обеспечивающих более эффективную форму классификации. Целесообразно, чтобы этот метод включал способ извлечения (не слишком большого числа) наиболее информативных признаков, достаточных для классификации, поскольку плохо сформированный набор признаков (в частности, использование коэффициентов ПГ) ведет к значительному замедлению процесса классификации сигнала и трудности его реализации в реальном времени.

Метод обработки сигнала, удовлетворяющий отмеченным требованиям, ориентирован на использование нейронной сети и основан на ее свойствах: обучаемости, способности к обобщению и возможности параллельной обработки большого количества информации.

Сеть с габоровской функцией преобразования нейронов (ГФПН) для классификации сигнала

В целях определения нескольких базовых функций $g_k(t)$ и соответствующих преобразований Габора (ПГ) для представления сигнала в трехмерном пространстве ВЧМ использована сеть с ГФПН (рис. 3). Это многослойная сеть, на вход которой поступают вектор-сигналы (размерностью L) $\{x_i\}_{i=1, \dots, N}$ ($x_i = [x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(L)]$), а на выходе формируются индикаторы $\{y_m\}_{m=1, 2, \dots, M}$ классификации на M классов. Основная цель сети состоит в классификации N анализируемых сигналов на M классов с использованием критерия максимальной отделимости (компактности) классов.

♦ **Структура сети с ГФПН.** В качестве ГФПН в сети используются K масштабированных L -точечных базисных функций $\{g_k\}_{k=1, \dots, K}$, где $g_k = [g_k(1), \dots, g_k(L)]^T$. Базисная функция $g_k(t)$ определена соотношением

$$g_k(t) = \frac{1}{\sqrt{s_k}} g\left(\frac{t-u_k}{s_k}\right) \exp(j\xi_k t), \quad k = 1, \dots, K, \quad (4^*)$$

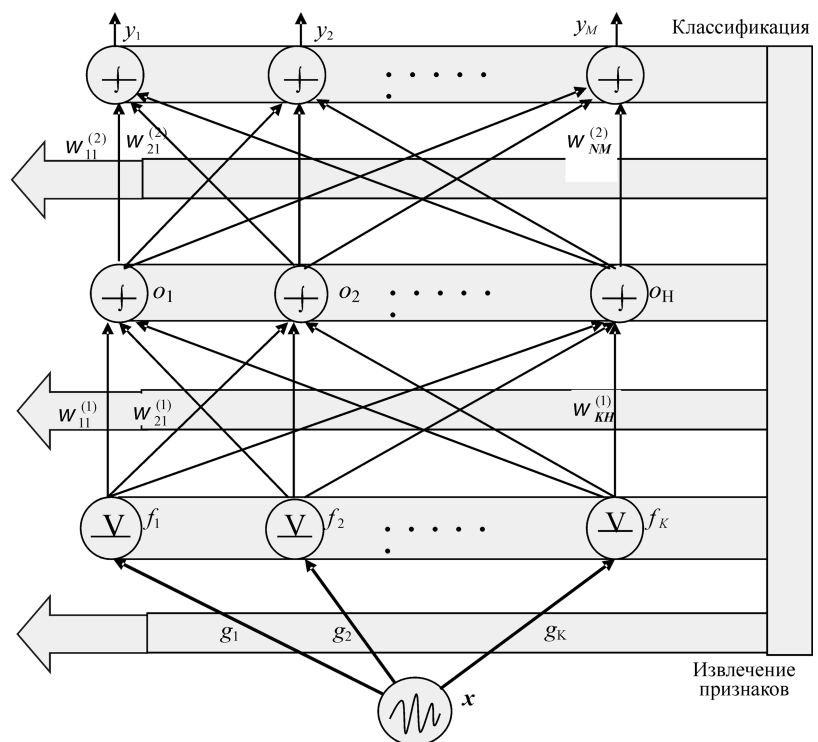


Рис. 3. Сеть с габоровскими функциями преобразования нейронов

где s_k , u_k и ξ_k — параметры масштаба, сдвига и модуляции для ГФПН в анализируемой сети.

На фазе обучения для элементов сети с ГФПН требуется адаптивная подстройка по критерию минимизации "функции стоимости" E — среднего квадратичного отклонения желаемого выхода сети (d_{im}) от его фактического значения (y_{im}):

$$E = \frac{1}{2} \sum_i \sum_m (d_{im} - y_{im})^2 = \min. \quad (5)$$

Структура сети объединяет три слоя:

- входной слой включает K узлов с ГФПН $\varphi_1, \dots, \varphi_k$. Активационная функция каждого узла φ_{ik} является абсолютной величиной выхода k -го узла, соответствующего входному вектор-сигналу x_i :

$$\varphi_{ik} = |\langle g_k, x_k \rangle| = \left| \int \frac{1}{\sqrt{s_k}} g^* \left(\frac{t - u_k}{s_k} \right) \exp(-j\xi_k t) x_i(t) dt \right| \quad (6)$$

Таким образом, φ_{ik} является абсолютной величиной "внутреннего" произведения вектора ГФПН $g_k = g(u_k, \xi_k, s_k)$ с вектор-сигналом x_i и представляет корреляцию между k -й ГФПН $g_k(t)$ и сигналом $x_k(t)$ (* — символ комплексного сопряжения);

- скрытый слой включает H узлов: $o_1, \dots, o_H$. На узел h скрытого слоя поступает активационная функция φ_{ik} k -го узла входного слоя, взвешенная весовым коэффициентом $w_{kh}^{(1)}$. При поступлении на узлы входного слоя сигнала x_i входной сигнал $U3_{ih}^{(1)}$ на узел h определяется соотношением

$$U3_{ih}^{(1)} = \sum_{k=1}^K \varphi_{ik} w_{kh}^{(1)}, \quad h = 1, \dots, H. \quad (7)$$

Активационной функцией узлов (нейронов) скрытого слоя является сигмоидная функция $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$, поэтому при поступлении на узел h сигнала $U3_{ih}^{(1)}$ выход o_{ih} этого узла описывается выражением

$$o_{ih} = f(U3_{ih}^{(1)}) = \frac{1}{1 + \exp(-U3_{ih}^{(1)})}, \quad h = 1, \dots, H; \quad (8)$$

- выходной слой включает M узлов: $y_1, \dots, y_m$. На узел m (y_m) подается сигнал o_{ih} (с выхода узла h скрытого слоя), взвешенный коэффициентом $w_{hm}^{(2)}$, т. е. сигнал на входе узла m составляет

$$U3_{im}^{(2)} = \sum_{h=1}^H o_{ih} w_{hm}^{(2)} \quad (\text{для любого } m = 1, \dots, M).$$

Вследствие этого на выходе узла m создается сигнал y_{im} :

$$y_{im} = f(U3_{im}^{(2)}) = \frac{1}{1 + \exp(-U3_{im}^{(2)})}, \quad (9)$$

где $U3_{im}^{(2)}$ и y_{im} — вход и выход узла m выходного слоя сети, а индекс i отражает вид входного сигнала x_i .

Как показано на рис. 3, сеть разделяется на две части: на входном слое реализуется извлечение признаков; скрытым и выходным слоями выполняется классификация.

Для обучения сети используется алгоритм обратного распространения [10, 13]. На фазе обучения (после подстройки своих весовых коэффициентов) сеть с ГФПН приобретает способность вырабатывать адекватные решения и оптимально выбирает набор параметров сигнала, достаточный для надежного представления N известных входных сигналов $x_1, \dots, x_N$. На фазе тестирования (проверки работоспособности сети на известном, но альтернативном материале) x_i . По результатам этой фазы оценивается точность классификации, достигнутой при использованном объеме обучающей выборки.

Алгоритмы обучения и тестирования сети с ГФПН

На фазе обучения подстраиваются значения весовых коэффициентов ("весов") сети w_{ij} и параметров ГФПН u_k , ξ_k и s_k . Для этой цели используется алгоритм минимизации средней квадратичной разности желательных d_{im} и фактических y_{im} показателей классификации сети по критерию (E), определенному выше соотношением (5). Для оптимизации весов w_{ij} используется δ -правило, для параметров u_k , ξ_k и s_k — минимизация критерия градиентным методом.

Алгоритм называют обратным распространением ошибки. Это название соответствует процедуре обратного перехода от ошибки сети (на фазе обучения) к коррекции параметров. Обратное распространение ошибки хорошо просматривается на сигнальном графе алгоритма [10, 13]. Компонентами (вектора) градиента критерия E (∇E) являются производные E по параметрам оптимизации.

При непрямой зависимости критерия от оптимизируемых параметров использована многоступенчатая процедура получения компонент градиента E , которая дает для них следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial u_k} &= - \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^H \delta_{ih}^{(1)} w_{kh}^{(1)} \frac{\partial \varphi_{ik}}{\partial u_k}; \\ \frac{\partial E}{\partial s_k} &= - \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^H \delta_{ih}^{(1)} w_{kh}^{(1)} \frac{\partial \varphi_{ik}}{\partial s_k}; \\ \frac{\partial E}{\partial \xi_k} &= - \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^H \delta_{ih}^{(1)} w_{kh}^{(1)} \frac{\partial \varphi_{ik}}{\partial \xi_k}, \end{aligned} \quad (10)$$

где N — число сигналов, используемых в обучающей выборке; H — число узлов скрытого слоя

(в классификационной части сети); $\delta_{ih}^{(1)} = \sum_{m=1}^M \times \delta_{im}^{(2)} w_{hm}^{(2)} o_{ih} (1 - o_{ih})$; $\delta_{im}^{(2)} = (d_{im} - y_{im}) y_{im} (1 - y_{im})$.

Если при классификации сигналов на p классов имеется $x_i(L)$, ..., $x_{N_i}(L)$ наблюдаемых векто-

ров (данных) первого класса, $\mathbf{x}_{N_1+1}(L)$, ..., $\mathbf{x}_{N_1+N_2}(L)$ — второго класса, ..., $\mathbf{x}_{N_{p+1}+1}(L)$, ..., $\mathbf{x}_N(L)$ — p -го класса и на фазе обучения контролируются результаты классификации этих сигналов, то на каждом цикле итерации происходит обновление весов сети и параметров ее центров с ГФПН. Процесс обучения заканчивается после достижения минимума для критерия. В результате параметры ГФПН представляют оптимальную часть пространства ВЧМ, сеть выдает наиболее надежные решающие функции относительно принадлежности сигналов к тому или иному классу и, следовательно, верно идентифицирует категорию контролируемого объекта.

Для того чтобы сделать сходимость процесса обучения быстрой и стабильной, использована адаптивная скорость обучения для обновления весов и смещения параметров ГФПН в соответствии со скоростью градиентного спуска.

Для реального сигнала достаточно использовать вещественную форму ПГ, поэтому соотношение (6) принимает более простой вид:

$$\begin{aligned} \varphi_{ik} &= \left| \int \frac{1}{s_k} g\left(\frac{t-u_k}{s_k}\right) \cos(\xi_k t) x_i(t) dt \right| = \\ &= \left| \int \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{s_k}} \exp\left(\frac{\pi(t-u_k)^2}{s_k^2}\right) \cos(\xi_k t) x_i(t) dt \right|. \end{aligned} \quad (11)$$

Для случая дискретного (по времени) сигнала, который характерен для всех задач цифровой обработки, соотношения (10) и (11) после аппроксимации интегралов суммами приобретают новую форму:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial u_k} &= - \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^H \delta_{ih}^{(1)} w_{kh}^{(1)} \frac{\theta_{ik}}{\varphi_{ik}} \sum_{l=1}^L \left[\frac{2}{s_k^2} \pi(t_1 - u_k) \times \right. \\ &\times \left. \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{s_k}} \exp\left(-\pi \frac{(t_1 - u_k)^2}{s_k^2}\right) \cos(\xi_k t_1) x_i(t_1) \right]; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial s_k} &= - \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^H \delta_{ih}^{(1)} w_{kh}^{(1)} \frac{\theta_{ik}}{\varphi_{ik}} \times \\ &\times \sum_{l=1}^L \left[\left(-\frac{1}{2s_k} + \frac{2}{s_k^3} \pi(t_1 - u_k)^2 \right) \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{s_k}} \times \right. \\ &\times \left. \exp\left(-\pi \frac{(t_1 - u_k)^2}{s_k^2}\right) \cos(\xi_k t_1) x_i(t_1) \right]; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \xi_k} = - \sum_{i=1}^N \sum_{h=1}^H \delta_{ih}^{(1)} w_{kh}^{(1)} \frac{\theta_{ik}}{\varphi_{ik}} \sum_{l=1}^L \left[-t_1 \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{s_k}} \times \right.$$

$$\left. \times \exp\left(-\pi \frac{(t_1 - u_k)^2}{s_k^2}\right) \sin(\xi_k t_1) x_i(t_1) \right], \quad (14)$$

$$\text{где } \theta_{ik} = \sum_{l=1}^L \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{s_k}} \exp\left(\frac{\pi(t - u_k)^2}{s_k^2}\right) \cos(\xi_k t_1) x_i(t_1). \quad (15)$$

♦ **Формализованный алгоритм обучения сети с ГФПН для выделения сигнала (объекта) класса p .**

Сигналы класса p , принадлежащие множеству X_p , могут идентифицироваться сетью с ГФПН по набору K параметров после ее обучения с использованием выборки из N сигналов ($\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$) этого класса при выполнении алгоритма, который включает:

- инициализацию трех параметров ГФПН $\{u_k, \xi_k, s_k\}$ при $k = 1, 2, \dots, K$ и веса сети;
- вычисление ГФПН с использованием инициализированных параметров и весов, определенных формулами (4) и (4*). Вычисление φ_{ik} в (11) для $\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$ всех K узлов сети с ГФПН с использованием для желаемого выхода значения $d_{i1} = \dots = d_{iM} = 1$, если $\mathbf{x}_i \in X_p$, и значение, равное нулю, если $\mathbf{x}_i \notin X_p$;
- введение φ_{ik} ($k = 1, \dots, K$) в классификационную часть сети с ГФПН;
- вычисление выходов сети для каждого элемента обучающей выборки ($\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_N$);
- получение для сети оценки ошибки E . Если E меньше выбранного порога, то фаза обучения заканчивается и делается переход к последнему пункту этого перечня; если нет, то переход к следующему пункту;
- подстройка весов в каждом слое с использованием алгоритма обратного распространения ошибки;
- использование ошибки обратного распространения в узлах с ГФПН для подстройки параметров ГФПН согласно соотношениям (12)–(14).
- возвращение ко второму шагу алгоритма и выполнение последующих его этапов;
- запоминание параметров для K центров сети с ГФПН: троек параметров $\{u_k^{(p)}, \xi_k^{(p)}, s_k^{(p)}\}$ и матриц весов: $\mathbf{W}_1^{(p)}$ и $\mathbf{W}_2^{(p)}$.

Матрицы веса $\mathbf{W}_{H \times K}^{(p)}$ и $\mathbf{W}_{M \times H}^{(p)}$ определяются соотношениями

$$\mathbf{W}_{H \times K}^{(p)} = \begin{bmatrix} w_{11}^{(1)} & w_{21}^{(1)} & \dots & w_{K1}^{(1)} \\ w_{12}^{(1)} & w_{22}^{(1)} & \dots & w_{K2}^{(1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{1H}^{(1)} & w_{2H}^{(1)} & \dots & w_{KH}^{(1)} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{W}_{M \times H}^{(p)} = \begin{bmatrix} w_{11}^{(2)} & w_{21}^{(2)} & \dots & w_{H1}^{(2)} \\ w_{12}^{(2)} & w_{22}^{(2)} & \dots & w_{H2}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{1M}^{(2)} & w_{2M}^{(2)} & \dots & w_{HM}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (16)$$

При использовании выражений (12)–(15) для градиента критерия оптимизации параметров сеть можно обучать распознавать один из классов сигнала. При необходимости идентифицировать и классифицировать сигналы (объекты), принадлежащие различным классам, следует обучать сеть поочередно на идентификацию сигнала конкретного класса. Задача классификации сигналов нескольких классов решается с использованием кластера сетей с ГФПН и обучения каждой из них на идентификацию сигналов определенного класса.

- ♦ **Формализованный алгоритм тестирования кластера сетей с ГФПН для идентификации сигнала, принадлежащего любому классу.** После того как набор параметров признаков извлечен для каждого класса сигнала и обучены p сетей с ГФПН, можно использовать алгоритм для распознавания, какому классу принадлежит тестируемый сигнал. Алгоритм включает:
- введение полученных ранее параметров ГФПН для центров сети $\{u_k^{(p)}, \xi_k^{(p)}, s_k^{(p)}\}$ при $k = 1, 2, \dots, K$ и полученных матриц веса $\mathbf{W}_1^{(p)}$ и $\mathbf{W}_2^{(p)}$;
- вычисление выходов $\phi_k = |\langle \mathbf{g}_k, \mathbf{x} \rangle|$ входного слоя и вектора (набора) $\boldsymbol{\phi} = [\phi_1, \dots, \phi_K]^T$;
- вычисление $\mathbf{n}^{(1)} = [Y_3^{(1)}, \dots, Y_3^{(p)}]^T$ и выходов o_h скрытого слоя сети:

$$\mathbf{n}^{(1)} = \mathbf{W}_1^{(p)} \boldsymbol{\phi}; \quad o_h = f(Y_3^{(1)}) = \frac{1}{1 + \exp(-Y_3^{(1)})}, \quad h = 1, \dots, H; \quad (17)$$

- вычисление вектора $\mathbf{n}^{(2)} = [Y_3^{(2)}, \dots, Y_3^{(p)}]^T$ и выхода y_m :

$$\mathbf{n}^{(2)} = \mathbf{W}_2^{(p)} \cdot \mathbf{o}; \quad y_m = f(Y_3^{(2)}) = \frac{1}{1 + \exp(-Y_3^{(2)})}, \quad m = 1, \dots, M, \quad (18)$$

где $\mathbf{o} = [o_1, \dots, o_H]^T$;

- в соответствии с тем, какой из выходов (y_m , $m = 1, \dots, M$) не нулевой, решается вопрос о том, что сигнал принадлежит именно этому классу.

Этот алгоритм может выполняться для $p = 1, \dots, P$ параллельным образом.

- ♦ **Получение параметров центров сети с ГФПН на фазе инициализации.** Используются два метода получения параметров для центров сети с ГФПН при инициализации.

1. Генерируется K случайных чисел $s_1, \dots, s_K$, распределенных равномерно в интервале $[1, N]$.

Вычисляются $u_1^{(1)}, \dots, u_K^{(1)} : u_k^{(1)} = u_k^{(0)} \times \left[\frac{2N-1}{s_k^{(1)}} - 1 \right] \frac{s_k^{(1)}}{2}$, где $u_k^{(0)}$, $k = 1, \dots, K$ — это K величин с гауссовым распределением с нулевым средним и единичной дисперсией.

Определяются $\xi_1^{(1)}, \dots, \xi_K^{(1)}$ по соотношению:

$$\xi_k^{(1)} = \xi_k^{(0)} \left(\frac{1}{s_k^{(1)}} \right) \pi, \quad \text{где } \xi_k^{(0)}, k = 1, \dots, K \text{ — это}$$

случайные числа с равномерным распределением в интервале $[-1, 1]$.

2. Второй метод оценки параметров ГФПН ($u_k^{(1)}, \xi_k^{(1)}$ и $s_k^{(1)}$) основан на использовании концепции так называемого локального дискриминантного базиса (ЛДБ) Саито (Saito) [14] и Джанга (Jiang) [15]. Алгоритм ЛДБ включает следующие шаги:

- определяются начальные величины ГФПН $\phi_{ik}^{(l)} = |\langle \mathbf{g}_k, \mathbf{x}_i^{(l)} \rangle|$, где $\mathbf{x}_i^{(l)}$ — i -й сигнал, принадлежащий классу l , $\gamma_k \equiv (u_k, \xi_k, s_k)$ и $y_k \in \Gamma$, где Γ — множество параметров;
- значения $\{\gamma_k, k = 1, \dots, K\} \in \Gamma$ принимаются равными $\{\bar{m}(k), k = 1, \dots, K\}$, которые являются наибольшими среди $\{m(j), j = 1, 2, \dots\}$, где

$$m(j) = \frac{\sum_{l=1}^L p^{(l)} [CP_l(\phi_{ij}^{(l)}) - CP_l(CP_l(\phi_{ij}^{(l)}))]}{\sum_{l=1}^L p^{(l)} \sigma_i^2(\phi_{ij}^{(l)})} \text{ — ин-}$$

дикатор Фишера, который служит мерой разделимости на классы элементов из последовательностей $\phi_{ik}^{(l)}$ ¹. Вследствие этой процедуры тройки параметров (u_k, ξ_k, s_k) (обозначенные как γ_k) совпадают с $\bar{m}(1), \bar{m}(2), \dots, \bar{m}(K)$, которые обладают свойством максимальной разделимости на классы.

Величина p_l является априорной вероятностью для $\phi^{(l)} = \{\phi_{ik}^{(l)}\}$, и она принята постоянной ($p^l = \text{const}$, т. е. использованы равные вероятности); $CP_l(f(i))$ и $\sigma_i^2(f(i))$ — представляют среднее и дисперсию функции $f(i)$. Множество параметров Γ состоит из трех частей [11]:

- все $\gamma = (pa^j \Delta u, a^j, qa^{-j} \Delta \xi)$, у которых $a = 2$, $\Delta u = 1/2$, $\Delta \xi = \pi$, $0 < j < \log_2 N$, $0 \leq p \leq N 2^{-j+1}$ и $0 \leq q \leq 2^{j+1}$;

¹ Мера Фишера разделимости на классы названа индикатором в отличие от более простого и широко известного в статистике критерия Фишера. Символом CP_l обозначено среднее значение по набору сигналов $\{x_i\}$, подлежащих распознаванию сетью с ГФПН.

- все $\gamma = (p, 1, 0)$ при $0 \leq p \leq N$;
- все $\gamma = (0, N, 2\pi q/N)$ при $0 \leq q \leq N$.

При использовании параметров, полученных методом ЛДБ, в качестве начальных (инициализированных) для процедуры обучения сети на фазе тестирования получаются несколько лучшие результаты, чем при начальных параметрах на основе случайного выбора.

Физическая интерпретация задачи классификации на основе сети с ГФПН

Физически триплеты (u_k, ξ_k, s_k) параметров центров с ГФПН соответствуют признакам сигнала, поступающего от контролируемого объекта. В случае системы с высоким разрешением (радара или комплекса узконаправленного инфракрасного зондирования) признаки сигнала являются характеристиками как дискретно-временной (отражающей рассеивающие элементы объекта-мишени), так и дискретно-частотной (отражающей резонансы и механизмы рассеивания излучения) специфики объекта. Признаки сигнала отражают и геометрические размеры объекта. Однако некоторые признаки, значимые для идентификации класса сигнала (и объекта), не входят в состав набора, который обеспечивает максимальную разделимость на классы по индексу Фишера.

Заключение

Рассмотрена структура и принцип организации нейронной сети, которая выполняет адаптивное (к виду сигнала) извлечение признаков и классификацию сигнала, поступающего от контролируемого объекта. В структуре сети использована концепция представления сигнала дискретным преобразованием Габора и на ее основе построены "габоровские" функции преобразования нейронов (ГФПН). Это направление разработано Малатом и Цхангом [11], Куаном и Ченом [12], Саито [14] и Джангом [15].

Проанализированы непрерывная и дискретная формы преобразования Габора (ПГ) и с единой позиции сопоставлены пространства параметров для ПГ и вейвлет-преобразования.

Для базисной функции представления сигнала в сети с ГФПН использован временной сдвиг, частотная модуляция и масштабирование гауссовой функции.

Сеть с распространением сигнала вперед включает три слоя: на входном слое с ГФПН происходит извлечение признаков анализируемого сигнала, скрытый и выходной слой реализуют его классификацию.

Приведены математические соотношения, определяющие алгоритм обучения сети.

В формализованной форме описаны этапы выполнения алгоритмов обучения и тестирования сети, также описаны методы инициализации парамет-

ров сети для этих двух фаз (стохастический метод и метод локального дискриминантного базиса (ЛДБ)).

Методом ЛДБ возможно получение троек (u_k, ξ_k, s_k) параметров для инициализации фазы обучения сети с СФПН в случае, когда она используется как классификатор в задаче распознавания образов. Сеть с симметричной функцией преобразования нейронов (сеть с СФПН) анализируется в [16 и 17].

Сети с ГФПН можно использовать в системах распознавания и классификации образов различного назначения: биотехническая идентификация личности, поточный анализ микрообъектов и элементов аэрокосмической съемки, идентификация дистанционно зондируемых объектов (радары с высоким разрешением, инфракрасные системы узконаправленного дистанционного контроля).

Список литературы

1. Gaunard G. C., Strifors H. C. Signal analysis by means of time-frequency transformation of Wigner type // *Proceedings of IEEE*. 1996. V. 84. N 9. P. 1231—1247.
2. Rioul O., Vetterli M. Wavelet and Signal Processing // In: *Signal Processing Technology and Applications* / Ed. Ackenhusen J. G. N.-Y.: Prentice Hall, 1995. 262 p.
3. Bertrand J., Bertrand P. A class of Wigner functions with extended covariance properties // *Journal of Mathematical Physics*. 1992. V. 33. N 7. P. 2515—2521.
4. Consalves P., Baraniuk R. G. Bertrand's bilinear time-frequency transformation and its modifications // *Signal Processing Letters*. 1996. V. 3. N 3. P. 82—84.
5. Меркушева А. В. Классы преобразований нестационарного сигнала в информационно-измерительных системах. II. Временно-частотные преобразования // *Научное приборостроение*. 2002. Т. 12. № 2. С. 59—70.
6. Меркушева А. В. Классы преобразований нестационарного сигнала в информационно-измерительных системах. III. Времено-масштабные (вейвлет-) преобразования для спектрально-временного анализа // *Научное приборостроение*. 2002. Т. 12. № 3. С. 68—82.
7. Moulin P., Mihcak M. K. Theory and design of signal adapted FIR paraunitary filter banks // *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1998. V. 46. N 4. P. 920—927.
8. Малыгина Г. Ф., Меркушева А. В. Согласованное многоканальное разделение сигнала с вейвлет-преобразованием и модифицированной полифазной структурой для спектрального вычитания фона речевого сигнала // *Научное приборостроение*. 2008. Т. 18. № 1. С. 72—74.
9. Qiu S., Feichtinger H. Discrete Gabor structure and optimal representations // *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1995. V. 43. N 10. P. 2178—2182.
10. Haykin S. *Neural Networks (A Comprehensive Foundation)*. N.-Y.: Prentice Hall, 1994. 680 p.
11. Mallat S., Zhang Z. Matching pursuits with time-frequency dictionaries // *IEEE Transactions on Signal Processing*. 1993. V. 41. N 12. P. 3397—3415.
12. Quian S., Chen D. Signal representation using adaptive normalized Gaussian functions // *Signal Processing*. 1994. V. 36. N 1. P. 1—11.
13. Kearns M. J., Vazaran U. V. *Introduction to learning theory*. Cambridge, MA: MIT Press. 1995. 230 p.
14. Saito N., Coifman F. Constructions for local biorthogonal basis for classifications and regression. C. R. Academy of Science of Paris, Ser. I. 1994. V. 319. P. 191—196.
15. Jiang Q., Goh S. S., Lin Z. Local discriminant atoms for signal classification // *Signal Processing*. 1999. V. 72. P. 47—52.
16. Broomhead D. S., Lowe D. Multivariable functional interpolation and adaptive networks // *Complex systems*. 1988. V. 2. P. 321—355.
17. Меркушева А. В., Малыгина Г. Ф. Методология сетей с симметричными функциями преобразования нейронов // *Научное приборостроение*. 2006. Т. 16. № 2. С. 34—45.

Е. А. Маткова, аспирант,
Е. Е. Ковшов, д-р техн. наук, проф.,
МГТУ "Станкин"

Классификатор интегрированной системы биомедицинского назначения на базе нейросетевых модулей

Анализ публикации о нейросетевых приложениях в разных областях медицины показывает, что отсутствуют работы, описывающие единую систему исследования (диагностика, лечение, прогнозирование) различных заболеваний. Описывается один из подходов к созданию информационной подсистемы анализа, основанной на нейросетевых модулях типа двухслойного персептрона с четким обучающим алгоритмом на базе инверсной интерполяционной матрицы.

Ключевые слова: биомедицинские модули, нейросеть, обучающая выборка, вектор признаков, активационная функция, алгоритм решения, матрица интерполяции.

Еще несколько лет назад в медицине практически не использовались решения, основанные на высокопроизводительных информационных технологиях, а роль персональных ЭВМ сводилась к обработке текстовой документации и простейшему обслуживанию лечебных приборов. Отсутствие специализированного программного обеспечения сдерживало применение ПЭВМ в областях, касающихся диагностики и прогнозирования заболеваний, что приводило к субъективному характеру лечебных мероприятий.

Одним из серьезных препятствий на пути внедрения информационных технологий в этих сферах является характер представления большей части медицинских данных, не выражаемых численными или символьными характеристиками. Кроме того, решение задач диагностики и прогнозирования редко бывает основано на четких правилах, так что зачастую в процессе получения окончательных выводов основную роль играет накопленный опыт, используемый не только в изученной ранее ситуации, но и при возникновении совершенно нового случая.

В отсутствие четких правил и алгоритмов решения биомедицинских задач и при значительных объемах накопленной информации весьма эффективным может оказаться использование нейросетевых технологий. Однако следует указать на следующий фактор, сдерживающий прогресс в данной области.

Ниже приведен перечень возможных применений нейронных сетей (НС) в медицине, на базе которых уже созданы коммерческие продукты:

- диагностика острой тромбоэмболии легких [4] с применением ингаляционной сцинтиграфии в пульмонологии и ранняя диагностика меланомы кожи;
- принятие решений при онкологических заболеваниях в урологии;
- интерпретация электроэнцефалограммы и распознавание на ранних стадиях болезни Альцгеймера [8];
- мониторинг летальных исходов при анестезии [7];
- исследование динамики жизнедеятельности больных гематогенным остеомиелитом позвоночника на фоне проводимого лечения [1];
- диагностика мужского бесплодия и прогнозирования рака предстательной железы [5] и т. д.

Общими чертами разработок этих нейросетевых приложений являются отсутствие единой универсальной технологии их создания, использование разнородных архитектур [3] и уникальных алгоритмов функционирования. Это делает такие системы чрезвычайно дорогими для практического применения.

Можно также говорить об отсутствии работ по созданию интегрированной системы исследования (диагностики, лечения и прогнозирования) различных заболеваний, способной автоматизировать области практического здравоохранения.

В условиях очевидной необходимости создания системы автоматического синтеза решений в медицине представляется весьма эффективным модульный принцип ее построения. При этом подключение самостоятельно работающих нейросетевых компонентов к интегрированной системе является главной задачей информационной подсистемы (ИПС) анализа. Функционально ИПС следует отнести к классу информационных объектов системного анализа.

Системный анализ, как известно, предназначен для решения слабоструктурированных задач, характеризуемых фактором неопределенности и неформализуемыми взаимосвязями элементов. В этой ситуации главным достоинством привлекаемого математического аппарата является возможность обучения, когда отрицательный результат какого-либо действия используется для структурно-параметрических изменений подсистемы.

В НС обучение технически заключается в определении весовых коэффициентов связей между элементами сети, называемых нейронами. В процессе обучения НС способна выявлять сложные зависимости между входными и выходными данными и выполнять обобщения. В итоге, в случае успешного обучения сеть может получить верный

результат на основании совершенно новых входных данных.

Это позволяет сделать вывод о том, что наиболее эффективной организацией ИПС является ее реализация в виде самостоятельного нейросетевого модуля.

Отметим следующую специфику этого модуля.

1. Оценка отдельного медицинского случая (наличие определенного заболевания или его отсутствие) сводится к получению скалярного результата, выражаемого булевой переменной (да — нет). При этом вектор входных признаков результата следует отнести к смешанному типу, когда одни признаки выражаются также булевыми переменными, а другие — непрерывными в данных диапазонах. Например, одни признаки характеризуют симптоматику случая (покраснение кожи, резь в глазах, наличие болевых ощущений и т. д.), а другие являются количественными характеристиками (температура, кровяное давление, снижение массы в единицах измерения и т. д.).

2. Обучающая выборка векторов признаков существенно ограничена, но может увеличиваться в процессе медицинского опыта.

Структура (1) отражает формализм получения результата $Y \in R^{1 \times 1}$:

$$X \in R^{M \times 1} \left\{ \begin{array}{l} \xrightarrow{x_1} \\ \vdots \\ \xrightarrow{x_M} \end{array} [F(X)] \rightarrow Y \in R^{1 \times 1} \right. \quad (1)$$

по входному вектору признаков

$$X_j = [x_{j,1} \dots x_{j,M}]^T \in R^{M \times 1}; x_i = 0 \cup 1, \\ x_{kmin} \leq x_k \leq x_{kmax},$$

где $F(\dots)$ — неизвестная функция, $F: R^{M \times 1} \rightarrow R^{1 \times 1}$.

Пусть получена некоторая неполная обучающая выборка:

$$F(X_1) = Y_1, \dots, F(X_N) = Y_N, F(X_i) = Y_i, 1 \leq i \leq N.$$

Выберем F методом радиальных базисных функций [8]:

$$F(X) = \sum_{i=1}^N \omega_i \varphi(\|X - X_i\|), \quad (2)$$

где $\|\dots\|$ — Евклидова норма, а ω_i — неизвестные весовые коэффициенты.

В качестве радиальной базисной функции выберем функцию Гаусса

$$\varphi(r) = e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \text{ при некотором параметре } \sigma. \quad (3)$$

Для N различных обучающих точек пространства признаков (что возможно, так как выборка неполная)

$X_1 = [x_{1,1} \dots x_{1,M}]^T, \dots, X_N = [x_{N,1} \dots x_{N,M}]^T$ составим матрицу интерполяции P_N :

$$P_N = \{\rho_{i,j} | (i,j) = 1, \dots, N\}; \rho_{ij} = \varphi(\|x_j - x_i\|). \quad (4)$$

Тогда

$$P_N \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_N \end{bmatrix}}_W = \underbrace{\begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_N \end{bmatrix}}_Y$$

По теореме Мичелли [6] матрица P_N является несингулярной. Отсюда получаем:

$$\omega_N = P_N^{-1} \cdot Y. \quad (5)$$

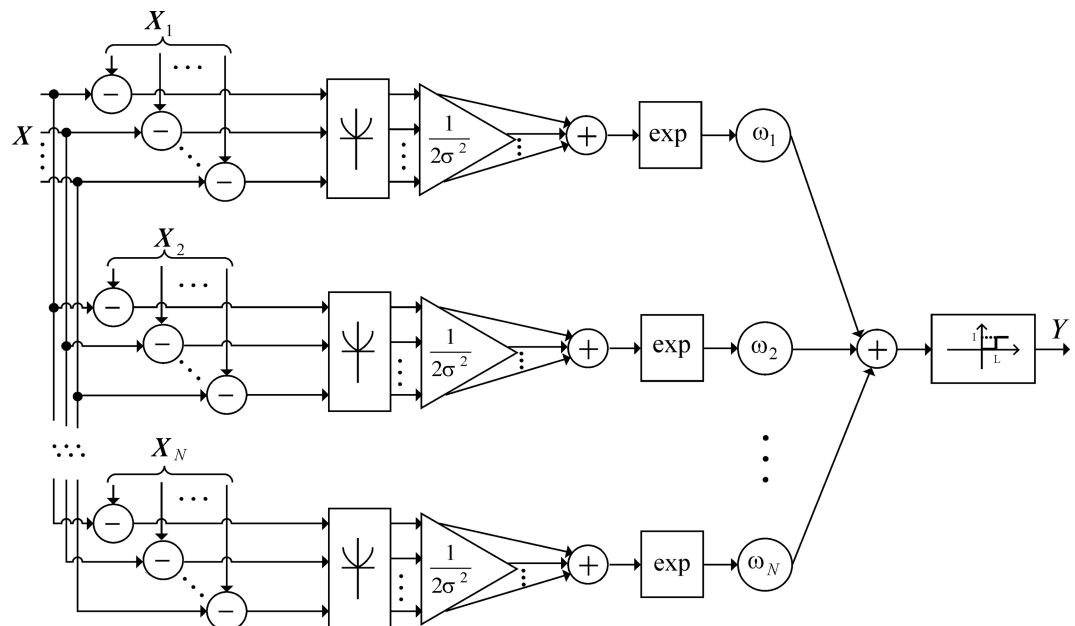
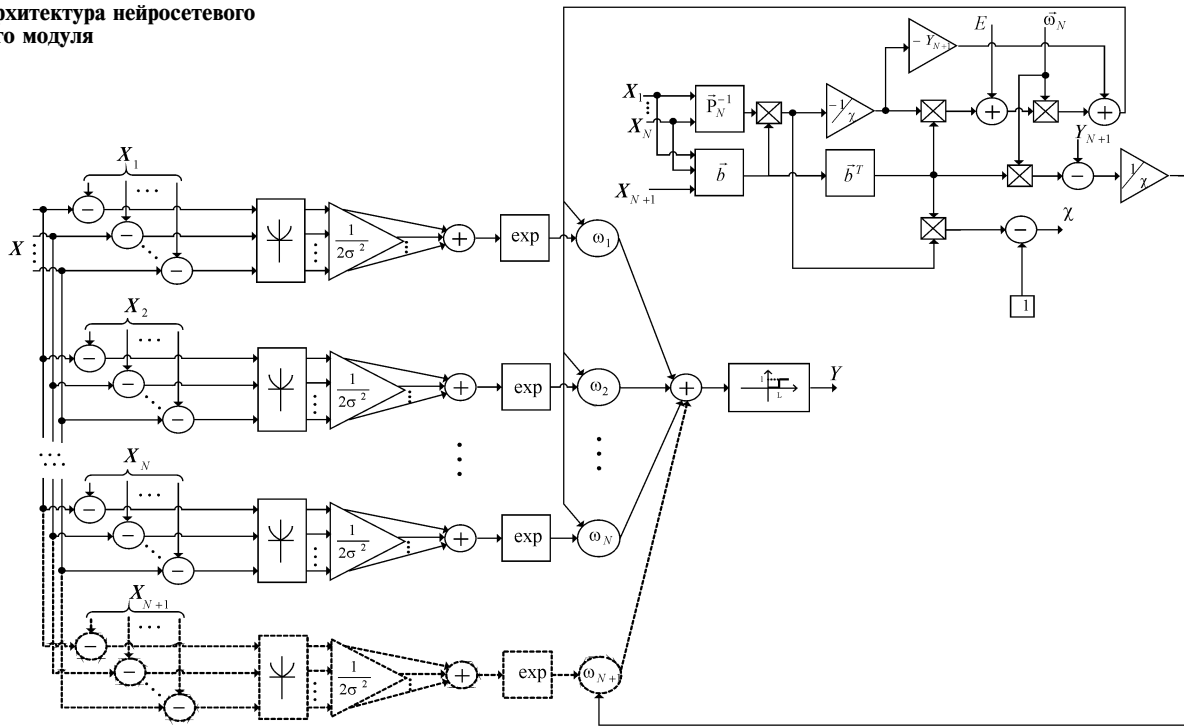


Рис. 1. Архитектура специализированного двухслойного персептрона

Рис. 2. Архитектура нейросетевого обучаемого модуля



Тогда интерполяционная функция принимает вид

$$F(X) = \sum_{i=1}^N \{ \mathbf{P}_N^{-1} \cdot \mathbf{Y} \}_i e^{-\frac{\sum_{j=1}^M (x_j - x_{j,i})^2}{2\sigma^2}}. \quad (6)$$

Формула (6) соответствует архитектуре двух-слойного персептрона, представленной на рис. 1, с экспоненциальной и релейной активационными функциями в первом и втором слоях соответственно. Если полагать $\sigma = \text{const}$, то обучение весовых коэффициентов ω_i проводится только во втором слое.

Рассмотрим подробнее формализм обучения, основанный на увеличении размерности множества векторов входных признаков на единицу.

Пусть $\mathbf{X}_{N+1}$ — новый вектор признаков решения. Тогда в соответствии с формулой (4) матрица $\mathbf{P}_{N+1}$ будет определяться формулой

$$\mathbf{P}_{N+1} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{P}_N & \left\{ \begin{array}{c} \rho_{1,N+1} \\ \vdots \\ \rho_{N,N+1} \end{array} \right\} \mathbf{b} \\ \hline \underbrace{\rho_{N+1,1} \dots \rho_{N+1,N}}_{\mathbf{b}} & \underbrace{\rho_{N+1,N+1}}_{a=1} \end{array} \right],$$

где $\rho_{N+1,i} = \rho_{i,N+1} = \varphi(\|\mathbf{X}_{N+1} - \mathbf{X}_i\|)$.

Тогда справедлива формула

$$\mathbf{P}_{N+1}^{-1} = \left[\begin{array}{c|c} \mathbf{P}_N^{-1} - \mathbf{P}_N^{-1} \cdot \mathbf{b} \cdot \mathbf{b}^T \cdot \mathbf{P}_N^{-1} \cdot \frac{1}{\chi} & \left| \frac{1}{\chi} \cdot \mathbf{P}_N^{-1} \cdot \mathbf{b} \right. \\ \hline \frac{1}{\chi} \cdot \mathbf{b}^T \cdot \mathbf{P}_N^{-1} & -\frac{1}{\chi} \end{array} \right], \quad (7)$$

где $\chi = \mathbf{b}^T \cdot \mathbf{P}^{-1} \cdot \mathbf{b} - 1$,

Отсюда получаем значение нового вектора весовых коэффициентов

$$\begin{aligned} \omega_{N+1} &= \left[\underbrace{\omega_{N+1}^N}_{N \times 1} \underbrace{\omega_{N+1}^{N+1}}_{1 \times 1} \right]^T = \\ &= \mathbf{P}_{N+1}^{-1} \left[\underbrace{\mathbf{Y}_N}_{N \times 1} \underbrace{\mathbf{Y}_{N+1}}_{1 \times 1} \right]^T. \end{aligned} \quad (8)$$

Подставляя выражение (7) в (8), получим:

$$\begin{aligned} \omega_{N+1}^N &= \left(E - \frac{1}{\chi} \cdot \mathbf{P}_N^{-1} \cdot \mathbf{b} \cdot \mathbf{b}^T \right) \cdot \omega_N + \\ &+ \frac{\mathbf{Y}_{N+1}}{\chi} \mathbf{P}_N^{-1} \cdot \mathbf{b}; \\ \omega_{N+1}^{N+1} &= \frac{1}{\chi} \cdot (\mathbf{b}^T \cdot \omega_N - \mathbf{Y}_{N+1}). \end{aligned} \quad (9)$$

Зависимости (9) описывают процедуру обучения вектора весовых коэффициентов ω при увеличении его размерности. Архитектуру нейросети, включая обучающий блок, отражает рис. 2.

Заключение

В области биомедицинских задач перспективный прогноз имеют нейросетевые технологии, позволяющие создать интегрированную информационную систему (ИИС) поиска сквозного решения.

Составной частью ИИС является классификатор заболеваний, для построения которого при-

менима схема двухслойного персептрона с экспоненциальными активационными функциями на входе. Обучающий алгоритм строится на базе инверсной интерполяционной матрицы на множестве входных признаков и опирается на вполне четкое решение.

Отдельная выходная величина классификатора является булевой переменной, выясняющей наличие заболевания. В результате обоснованно может быть выбран нейросетевой модуль поиска лечебной методики.

Список литературы

1. **Афонин Д. Н., Дору-Товт В. П.** К вопросу о прогнозировании нарушений жизнедеятельности у больных гематогенным остеомиелитом позвоночника // 4-я междуна. дист. научно-практич. конф. "Новые технологии в медицине", СПб. 2007.

2. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2004.
3. **Binns M. D., Clough F. J., Garth S. C.** An architecture for fully integrated large scale neural networks // Int. J. Neural Syst. 1993. V. 1, N 4. P. 327—332.
4. **Evander E.** Role of ventilation scintigraphy in diagnosis of acute pulmonary embolism: an evaluation using artificial neural networks // Eur. J. Med Imaging. 2003.
5. **Matsui Y.** Artificial neural network analysis for predicting pathological stage of clinically localized prostate cancer in the Japanese population // Jpn. J. Clin. Oncol. 2002.
6. **Micchelli C. A.** Integration of scattered data: Distance matrices and conditionally positive definite functions // Constructive Approximation. 1986. Vol. 2. P. 11—22.
7. **Ortolani O., Conti A.** EEG signal processing in anaesthesia. Use of a neural network technique for monitoring depth of anaesthesia // Br. J. Anaesth. 2002 May; N 88 (5).
8. **Petrosian A. A., Prokhorov D. V.** Recurrent neural network-based approach for early recognition of Alzheimer's disease in EEG // Clin Neurophysiol. 2001 Aug. N 112 (8).
9. **Powell M. J.** Radial basis function approximations to polynomials // Numerical Analysis 1987 Proceedings. 1988. P. 223—241.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

УДК 004.5

Э. А. Трахтенгерц, д-р техн. наук, проф.,
Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН
E-mail: tracht@ipu.rssi.ru

Компьютерная технология реализации динамики информационного управления в конфликтных ситуациях. Часть II. Оценка эффективности стратегии и целей

Рассматриваются компьютерные методы оценки эффективности стратегий и целей информационного управления в конфликтных ситуациях.

Ключевые слова: эффективность стратегий, эффективность целей, конфликтные ситуации, компьютерные технологии, модификация целей и стратегий.

Введение

Реализация динамики компьютерного информационного управления в конфликтных ситуациях, помимо оценки и коррекции информационных оперативных воздействий, рассмотренных в первой части статьи, требует оценки и коррекции используемых информационных стратегий и сформулиро-

ванных целей. Эта задача может быть выполнена системой поддержки принятия решений (СППР) только с участием руководителей и экспертов.

Начнем с оценки эффективности стратегии.

1. Компьютерные технологии оценки эффективности стратегий информационного управления и их модификации

Оценку эффективности стратегии проведем методом распознавания образов. Для того чтобы распознающая система могла оценить реализуемую стратегию, она должна узнать от эксперта, что такое "хорошо" и что такое "плохо". Для каждого критерия эксперты определяют его значения, соответствующие лингвистическим или балльным оценкам параметров, после чего согласовывают их. Пример такой критериальной оценки параметров показан в табл. 1.

Табл. 1 должна периодически пересматриваться экспертами. В период смены стратегий изменение значений тренда может быть значительным, но по мере приближения к желаемой цели оно стабилизируется. В этом случае хорошими могут считаться весьма скромные изменения значений трендов.

Поскольку в систему мониторинга с заданной частотой поступает вся информация о количестве продаж, стоимости акций и т. п., она с той же частотой обновляет свои базы данных, если необходимо, запрашивая те, которые не поступают автоматически, например субъективные оценки руководителей.

Таблица 1

Обозначение и наименование критериев	Критериальная оценка тренда значений параметров стратегий				
	Отлично	Хорошо	Удовлетв.	Плохо	Очень плохо
W — процент изменения объема проданной продукции и услуг	–5...–4	–4...–2,1	–2,1...–1	–0,9...0	> 0
θ — процент изменения доходов	–6...–5	–5...–3	–2,9...–1,1	–1,1...0	> 0
Z — процент изменения курса акций фирмы	–7...–6	–6...–3,1	–3...–0,9	–0,8...–0,1	> 0
C — процент информационных оперативных воздействий, улучшающих синергетику информационного управления	> 90	89...50	49...25	24...10	< 9
U — процент потерянного рынка	> 20	19,9...15	14,9...10	9,9...8	< 8

Тренды значений критериев будем оценивать с использованием приведенных ниже формул (1)–(3) следующим образом [2]:

$$W = \frac{R_1 + H_1}{2}; \theta = \frac{R_2 + H_2}{2};$$

$$Z = \frac{H_3 + U_3}{2}; U = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T U_p$$

т. е. беря среднее из допустимых значений R , H и U , а процент потерянного рынка оценивая как среднее за период T :

$$R_i = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T \frac{x_i(t) - x_i(t-1)}{x_i(t-1)}; \quad (1)$$

$$H_i = \frac{100}{T} \frac{[x_i(1) - x_i(T)]}{x_i(t)}; \quad (2)$$

$$U_i = \frac{100}{T} \sum_{t=1}^T x_i(t), \quad (3)$$

где i — номер критерия; $x_i(t)$ — значение i -го критерия в период t ; T — число периодов. Значения $x_i(t)$ хранятся в базе данных мониторинга. Оценка C — экспертная, формулами типа (1)–(3) не оценивается.

По всем трем формулам проводится оценка изменений показателей (трендов) за определенный период. Оценка (1), как правило, дает систематическую ошибку, завышая результаты в случае

больших флуктуаций переменных. Оценка (2) учитывает значение тренда только по первому и последнему периодам, поэтому результат может быть сильно искажен за счет одного аномального значения. Результаты расчетов по формуле (3) имеют известные недостатки и достоинства простого среднего за рассматриваемый период. Сопоставление оценок R_i , H_i и U_i способствует выявлению неравномерности деятельности фирмы. Эта неравномерность может быть представлена руководителям и экспертам СППР с помощью диаграмм и графиков. Анализируя значения критериев атакуемой фирмы, перечисленные в табл. 1, а возможно, и некоторые другие, СППР определяет, насколько правильно выбрана общая стратегия информационного управления для достижения цели, поставленной атакующей системой. Эти оценки могут входить в набор критериев оценки правильности реализуемой стратегии информационного управления.

На основании данных таблиц, аналогичных табл. 1, хранящихся в базе данных, СППР определяет тренды значений критериев эффективности стратегий информационного управления. В табл. 2 показан период $t^{r-7} - t^{r+2}$ выполнения стратегии L_1 , реализующей острую реакцию на каждую информационную атаку или контратаку противника, т. е. на каждую публикацию, порочащую фирму, ее продукцию или руководство.

Эксперты разделяют все критериальное пространство на классы успешности реализации стратегий. В нашем примере в табл. 3 оно разбито

Таблица 2

Периоды	W	θ	Z	C	P	U	Стратегия
$t^{r-7} - t^{r+2}$	Плохо	Плохо	Оч. плохо	Хор.	Удовл.	Оч. плохо	L_1
Примечание: столбец P — субъективная оценка руководителей ситуации за период t							

Таблица 3

№ класса и характеристика стратегии	Значения критериев в опорных векторах стратегий					
	W	θ	Z	C	P	U
Класс 1 — стратегия реализуется успешно	Отл.	Отл.	Отл.	Отл.	Отл.	Отл.
Класс 2 — для оценки успешности стратегии требуется дополнительный анализ	Хор.	Хор.	Удовл.	Удовл.	Хор.	Удовл.
Класс 3 — стратегия требует замены	Плохо	Плохо	Плохо	Плохо	Плохо	Плохо

на три класса. Значение критериев в опорных векторах определяется экспертами и согласовывается с помощью СППР.

В класс 1 эффективности попадают стратегии $h_l(\bar{x})$, у которых мера близости к опорному вектору класса 1 меньше, чем к опорным векторам других классов:

$$\begin{aligned}\rho(\tilde{h}_1(\bar{x}), h_l(\bar{x})) &< \rho(\tilde{h}_2(\bar{x}), h_l(\bar{x})); \\ \rho(\tilde{h}_1(\bar{x}), h_l(\bar{x})) &< \rho(\tilde{h}_3(\bar{x}), h_l(\bar{x})),\end{aligned}$$

где $\rho(\tilde{h}_1(\bar{x}), h_l(\bar{x}))$ определено ниже в соотношении (4).

Аналогично в класс 2 эффективности попадают стратегии, у которых мера близости к опорному вектору класса 2 меньше, чем к опорным векторам других классов, так же определяются стратегии, попадающие в класс 3 эффективности.

Значения опорных векторов показаны в табл. 3.

СППР определяет близость вектора $h_l(\bar{x})$, значений критериальных оценок трендов стратегии L_1 к значениям опорных векторов табл. 3 по следующей формуле, считая "веса" всех критериев одинаковыми:

$$\rho(h_l(\bar{x}), h_l(\bar{x})) = \min_{\substack{h_i(\bar{x}) \in G \\ h_i(\bar{x}) \notin G}} \rho(h_i(\bar{x}), h_l(\bar{x})), \quad (4)$$

где $\rho(h_i(\bar{x}), h_l(\bar{x})) = \sqrt{\sum_{j=1}^J k_j(x_i^j - x_l^j)^2}$; $h_q(\bar{x})$ — вектор значений критериев l -й стратегии ($q = i, l$); k_j — "вес" j -го критерия, а x_i^j — оценка значения i -й стратегии по j -му критерию; G — множество векторов значений критериев в каждом классе табл. 3.

Через $h^r(\bar{x})$ обозначим вектор эталонных значений критериев r -й цели информационного воздействия. Такие векторы показаны в качестве примера в табл. 3. Еще раз повторим, что эти оценки получаются на основе как измеряемых значений критериев, так и субъективных оценок экспертов. Для нахождения цели информационного воздействия определим r из соотношения

$$\begin{aligned}\rho(h^r(\bar{x}), h_l(\bar{x})) &= \min_{h^r(\bar{x}) \in G} \rho(h^r(\bar{x}), h_l(\bar{x})), \\ r &= \overline{1, R}.\end{aligned} \quad (5)$$

То есть СППР сравнивает вектор $h_l(\bar{x})$ со всеми векторами $h^r(\bar{x})$. Вектор r , для которого функция $\rho(h^r(\bar{x}), h_l(\bar{x}))$ достигает минимума, и определяет цель информационного воздействия.

Учитывая низкие оценки стратегии, СППР начинает с опорного вектора класса 3 эффективности:

$$\rho(\tilde{h}_3(\bar{x}), h_l(\bar{x})) = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (x_3^j - x_l^j)^2} =$$

$$\begin{aligned}&= \sqrt{(1-2)^2 + (1-2)^2 + (1-1)^2 + (1-4)^2 + \dots} \rightarrow \\ &\rightarrow \sqrt{(1-3)^2 + (1-1)^2} = \sqrt{15} = 3,9.\end{aligned}$$

Затем СППР определяет близость вектора оценок тренда стратегии в этой же фазе к опорному вектору класса 2 эффективности:

$$\begin{aligned}\rho(\tilde{h}_2(\bar{x}), h_l(\bar{x})) &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 (x_2^j - x_l^j)^2} = \\ &= \sqrt{(4-2)^2 + (4-2)^2 + (3-1)^2 + (3-4)^2 + \dots} \rightarrow \\ &\rightarrow \sqrt{(4-3)^2 + (3-1)^2} = \sqrt{18} = 4,2.\end{aligned}$$

Таким образом,

$$\rho(\tilde{h}_3(\bar{x}), h_l(\bar{x})) < \rho(\tilde{h}_2(\bar{x}), h_l(\bar{x})).$$

Стратегия принадлежит классу 3 эффективности. СППР рекомендует руководству сменить стратегию.

Пусть СППР, используя алгоритмы, рассмотренные, например, в работах [7, 8], предлагает реализовать вместо стратегии L_1 одну из рассмотренных экспертами ранее стратегий информационного управления — стратегию L_2 . Стратегия L_2 противоположна стратегии L_1 , она заключается в игнорировании информационных воздействий оппонента. Руководство утверждает это решение, осуществляет смену стратегий, и СППР начинает оценивать эффективность реализуемой стратегии. Для чего проверяет принадлежность стратегии L_2 к опорным векторам табл. 3 в период $t^{r+4} - t^{r+13}$. Тренды значений критериев за этот период показаны в табл. 4.

Анализ начинается с опорного вектора класса 2 эффективности, поскольку значения критериев стратегии L_2 в табл. 4 достаточно хорошие:

$$\begin{aligned}\rho(\tilde{h}_2(\bar{x}), h_l(\bar{x})) &= \sqrt{\sum_{j=1}^6 (x_2^j - x_l^j)^2} = \\ &= \sqrt{(4-4)^2 + (4-4)^2 + (3-3)^2 + (3-5)^2 + \dots} \rightarrow \\ &\rightarrow \sqrt{(4-4)^2 + (3-5)^2} = \sqrt{8} = 2,8.\end{aligned}$$

Затем сравнивается вектор критериальных оценок тренда стратегии L_2 с опорным вектором класса 1 эффективности:

$$\rho(\tilde{h}_1(\bar{x}), h_l(\bar{x})) = \sqrt{\sum_{j=1}^6 (x_1^j - x_l^j)^2} =$$

Таблица 4

Периоды	W	θ	Z	C	P	U	Стратегия
$t^{r+4} - t^{r+13}$	Хор.	Хор.	Удовл.	Отл.	Хор.	Отл.	L_2

$$= \sqrt{(5-4)^2 + (5-4)^2 + (5-3)^2 + (5-5)^2} \rightarrow \rightarrow \sqrt{(5-4)^2 + (5-5)^2} = \sqrt{2} = 1,41.$$

Таким образом,

$$\rho(\tilde{h}_1(\bar{x}), h_l(\bar{x})) < \rho(\tilde{h}_2(\bar{x}), h_l(\bar{x})).$$

В период $t^{r+4} \dots t^{r+13}$ стратегия информационного управления L_2 принадлежит классу 1 эффективности. Реализация стратегии приносит требуемый результат, СППР предлагает продолжить ее реализацию. Тем самым стратегия L_1 заменена стратегией L_2 . Оказалось, что в сложившейся обстановке реагировать на публикации атакующей стороны нецелесообразно. Смена стратегии может привести к необходимости модификации цели, если другие стратегии не обеспечат ее реализации.

2. Компьютерная технология оценки эффективности достижения цели информационного управления и необходимости ее модификации

Критерии оценки успешности достижения цели и эффективности реализации стратегии могут совпадать. Для краткости изложения будем считать, что оценка эффективности реализации стратегии по оцениваемым критериям совпадает с оценкой успешности достижения цели. То есть успешность достижения цели оценивается классом 1 эффективности и значения критериев близки к критериальным оценкам первой области эффективности, показанным в табл. 3. Однако при оценке эффективности реализации стратегий не рассматривались два важнейших критерия достижения цели, связанные с ее реализацией: риск и возможность осуществления цели. Игнорирование этих критериев являлось одной из важнейших причин провалов многих проектов достижения как грандиозных, так и совсем незначительных бытовых целей. Заметим, что при ранжировании целей в процессе планирования эти критерии учитывались, но не обсуждались.

Понятие риска часто используется в быту и поэтому приобрело некоторую размытость. Под риском обычно понимается возможность наступления какого-либо события, наносящего ущерб, мешающего достижению поставленной цели или делающего его невозможным. Под оценкой риска можно понимать размер возможного ущерба, степень отступления от намеченной цели, недополучение ожидаемых преимуществ (доходов, политической власти, положения на рынке) и т. д. Необходимо отметить, что при оценке риска достижения цели руководитель или эксперт очень часто не имеет достаточно данных для объективной оценки возможных угроз и вынужден исходить только из своих субъективных оценок и интуиции. В литературе приведено несколько классификаций рисков и под-

ходов к их оценкам [1, 3, 4], так или иначе, они связаны с характером выбираемых целей.

Для каждой цели можно рассматривать специфические для нее угрозы, но можно рассматривать угрозы и для всего процесса информационного воздействия, в рамках которого формируется его развитие. Тогда все угрозы процессу считаются и угрозами каждой цели. Как всегда в таких случаях приходится выбирать между желанием учесть как можно большее количество возможных рисков (угроз) и пониманием грубости их оценки. Наложение ошибок оценки большого числа рисков может привести к неверному интегральному результату. В литературе для оценки рисков обычно используют теоретико-вероятностные, вероятностно-статистические, статистические и экспертные модели [3]. Поскольку любой вариант информационного управления в конфликтных ситуациях проходит, как правило, в уникальной ситуации, то приходится ограничиваться применением только экспертных методов.

Для определения опасности рисков информационного управления система представляет на дисплеи руководителей и экспертов список возможных рисков, находящийся в базе данных, просит отметить те риски, которые они хотят внести в окончательный список, и добавить новые, если они считают это нужным.

Затем в СППР вводится процедура согласования. Пусть это будет процедура голосования с требованием единогласия [6]. СППР анализирует списки рисков всех руководителей, оставляя в окончательном списке только те, которые помечены всеми руководителями, и высвечивает полученный список на их дисплеях. Если список утверждается, процедура формирования списка рисков считается законченной, если нет — процедура повторяется.

В нашем иллюстративном примере будем считать, что утверждены следующие риски (угрозы) достижения целей:

- отношение властей;
- социальные опасности (преступления, социальные волнения и т. п., вызванные информационными воздействиями);
- рыночные риски (возможные убытки, вызванные расходами на информационные воздействия, не компенсированные достижением цели).

Для оценки риска успешности достижения цели введем пятибалльную шкалу (она может быть и другой). Соответствие номера категории, ее наименования и балльной оценки показано в табл. 5.

Оценку риска успешности достижения цели проведем по среднему баллу. Значение риска (угрозы) должно быть оценено всеми руководителями и экспертами. Каждый из них ставит свои оценки риска в соответствии с табл. 5, представленной системой, и СППР определяет свою оценку цели по формуле

Таблица 5

№	Наименование категории риска	Балльная оценка
1	Риск минимальный	5
2	Риск небольшой	4
3	Риск есть	3
4	Риск существенный	2
5	Риск чрезвычайный	1

$$X_i = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K x_{ij}^k, \quad i = \overline{1, I}, \quad (6)$$

где x_{ij}^k — оценка риска i -й цели k -м руководителем по j -му риску.

Если руководитель определил каждому специалисту свой "вес" — m_k , то среднюю оценку СППР определяет по формуле

$$X_i = \frac{\sum_{k=1}^K m_k x_{ij}^k}{\sum_{k=1}^K m_k}, \quad i = \overline{1, I}. \quad (7)$$

Специалисты могут и не знать, какой "вес" придал им руководитель. Опустим подробности вычислений по формулам (6) или (7), будем считать их выполненными.

В результате СППР представляет каждому специалисту таблицу типа табл. 6, в верхней строке которой указаны категории риска, данные самим специалистом, а в нижней — подсчитанные по формуле (6) или (7). В предпоследнем столбце таблицы СППР указывает среднюю категорию риска модификации по оценкам данного специалиста и по усредненным оценкам, подсчитанным СППР. Каждый специалист на дисплее будет видеть только свою таблицу, верхние строки которой неизвестны другим специалистам. В табл. 6 показан пример оценки риска цели "компрометация и разоблачение руководства". Оценка получена в процессе динамики информационного управления.

Таблица 6

Наименование модификации цели	Категории риска (угрозы)			Сумма категорий	Средняя категория	Балльная оценка
	Отношение властей	Социальные опасности	Рыночные риски			
Компрометация и разоблачение руководителя	Риск есть (3)	Риск небольшой (2)	Риск есть (3)	8	3	3
	Риск минимальный (1)	Риск минимальный (1)	Риск существенный (4)	6	2	4

После того как каждый специалист увидел на экране табл. 6, он может скорректировать свои оценки с учетом средних оценок, данных другими специалистами. Они показаны во вторых строках табл. 6. СППР с учетом проведенных изменений введет соответствующие коррективы. Таким образом, вторые строки табл. 6 являются оценками вариантов модификаций целей информационного управления, позволяющими их проранжировать. Последний столбец табл. 6 показывает балльную оценку риска проведения информационного управления с указанной целью. Она используется при ранжировании целей.

Теперь перейдем к оценке реализуемости цели информационного управления. Методика оценки реализуемости в каком-то смысле близка к методике оценки рисков. Близость объясняется тем, что эти оценки также в значительной степени субъективные, основанные на опыте, знаниях и интуиции, а не на точном расчете. Задачу оценки реализуемости целей можно подразделить на перечисленные ниже подзадачи, как это сделано, например, в работе [9]. Оценить реализуемость каждой подзадачи легче, чем сразу всей задачи в целом.

Техническая реализуемость. Под этим подразумевается возможность получить требуемое состояние атакуемого объекта, используя традиционные или вновь предлагаемые технологии информационного воздействия.

Экономическая реализуемость. Под этим подразумевается оценка возможности получения ожидаемой прибыли от информационных воздействий, например, оттого что продукцию конкурента перестают покупать, а вместо нее покупают продукцию атакующей организации.

Финансовая реализуемость. Она подразумевает оценку обеспечения финансирования для проведения информационных воздействий. Но с оценками финансовой реализуемости случаются иногда странные вещи. Так, расходы по созданию туннеля под Ла-Маншем в несколько раз превысили первоначальную смету. Казалось бы, этот проект не будет осуществлен, но руководство компании смогло расструктурировать долги, привлечь новые средства, успешно закончить работы и начать эксплуатировать туннель. Правда, выплата дивидендов акционерам откладывается на длительный срок. Аналогичные вещи могут произойти и при оценке финансовой реализуемости цели в динамике, информационного управления.

Политическая реализуемость. Она может быть перефразирована как "политически корректная цель". В этом случае она будет (или может быть) поддержана властями и/или различными политическими силами. В противном случае они могут противодействовать проекту, создавать трудности или просто запретить его осуществление под каким-нибудь предлогом.

Таблица 7

Категория реализации	Балльная оценка
Вполне реализуема	5
Реализуема	4
Реализуема с трудом	3
Плохо реализуема	2
Нереализуема	1

Таблица 8

№	Наименование цели	Критериальная оценка аспектов реализуемости цели			
		Техническая	Экономическая	Финансовая	Маркетинговая
1	Компрометация и разоблачение руководителя	Вполне реализуема	Реализуема с трудом	Реализуема	Реализуема

Маркетинговая реализуемость. Очень простой и яркий пример такого анализа — ответ представителя фирмы Тойота, данный в 2003 г. на предложение построить автомобильный завод в России: "Он может быть построен только после того, как в стране продажа достигнет 50 000 новых машин "Тойота" в год". В 2006 г. фирма "Тойота" продала в России больше 95 000 автомобилей — завод начал строиться [5]. В достижении этого результата немалую роль сыграла реклама.

Существуют, конечно, и другие проблемы реализуемости целей. Теперь перейдем к их оценке. Пусть СППР сгенерировала и согласовала с руководителями следующие аспекты реализуемости цели информационного управления:

- техническую;
- экономическую;
- финансовую;
- маркетинговую.

Для оценки реализуемости СППР предложила руководителям пятибалльную шкалу, показанную в табл. 7. По этой шкале руководители дают оценку реализуемости каждой цели по всем рассматриваемым аспектам. Для этого СППР высвечивает на дисплеях руководителей таблицу типа табл. 8, которую руководители заполняют.

СППР согласовывает значения критериев, представленные руководителями в таблице типа табл. 8, одним из способов, рассмотренных, например, в работе [6]. Будем считать, что в табл. 8 проставлены уже согласованные значения, и СППР рассчитывает "веса" аспектов реализуемости цели информационного управления по следующим формулам:

"вес" технического аспекта

$$\beta_1 = \frac{y_1}{\sum_i y_i} = \frac{5}{16} = 0,31; \quad (8)$$

"вес" экономического аспекта

$$\beta_2 = \frac{y_2}{\sum_i y_i} = \frac{3}{16} = 0,19;$$

"веса" финансового и маркетингового аспектов

$$\beta_3 \text{ и } \beta_4 = \frac{y_3}{\sum_i y_i} = \frac{y_4}{\sum_i y_i} = \frac{4}{16} = 0,25,$$

где y_i — оценка в i -м столбце табл. 8, преобразованная СППР в балльную оценку по табл. 7.

Оценку возможности реализации j -й цели R_j можно провести по формуле

$$R_j = \begin{cases} 1, & \text{если } \exists d_{ij} = 1, \\ \sum_i \beta_i d_{ij}, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (9)$$

где d_{ij} — оценка i -го аспекта реализации j -й цели в табл. 7.

В нашем случае $R_1 = 0,31 \cdot 5 + 0,19 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 = 4,06$, т. е. оценка "Цель реализуема".

По табл. 3 средняя оценка области 1 эффективности равна 5,0. Оценка риска по табл. 6 равна 4 и оценка реализуемости по формуле (9) — 4. Средняя по этим трем критериям оценка успешности достижения цели — 4,3. Цель модифицировать не нужно. В случае необходимости ее модификации вариант модификации может быть сгенерирован так, как это показано, например, в работах [7] и [8].

Заключение

Система поддержки принятия решений на основе заранее сформулированных экспертных оценок параметров стратегий и целей определяет эффективность реализуемых стратегий и целей. В случае необходимости предлагает их изменения и проверяет эффективность модификаций.

Список литературы

1. Андреев А. А., Зубарев В. Д., Саркисов С. В. Анализ рисков нефтегазовых проектов. М.: Изд-во РГУНиГ, 2003.
2. Ансофф И. Стратегическое управление. М.: Экономика, 1989.
3. Вишняков Я. Д., Радаев Н. Н. Общая теория рисков. М.: АCADEMIA, 2007.
4. Карибский А. В., Шишорин Ю. Р., Юрченко С. С. Финансово-экономический анализ и оценка эффективности инвестиционных проектов и программ // Автоматика и телемеханика. 2003. № 6. С. 40—60.
5. Седельников П. А. ВАЗ не спрашивали // Итоги. 2007. № 4. С. 42—43.
6. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия согласованных решений // Информационные технологии. Приложение. 2002. № 3. 24 с.
7. Трахтенгерц Э. А., Иванилов Е. Л., Юркевич Е. В. Современные компьютерные технологии управления информационно-аналитической деятельностью. М.: СИНТЕГ, 2007.
8. Трахтенгерц Э. А., Шершаков В. М., Камаев Д. А. Компьютерная поддержка управления ликвидацией последствий радиационного воздействия. М.: СИНТЕГ, 2004. 456 с.
9. Web Allen. Project planning and feasibility analysis // <http://members.aol.com/AllenWeb/planning.htm>

Ю. К. Машунин, д-р экон. наук, проф.,
Тихоокеанский государственный
экономический университет

Агрегированная модель развития рынка

Представлена новая методология построения и моделирования агрегированных рынков. Математическая модель агрегированного рынка представлена в виде векторной задачи математического программирования. В агрегированной модели во-первых, реализованы, баланс совокупного спроса и предложения, во-вторых, сохранена целенаправленность каждого участника рынка. Методология показана на тестовом примере построения и моделирования агрегированного рынка.

Ключевые слова: рынок, агрегированный рынок, математическая модель рынка, векторная оптимизация, методы векторной оптимизации.

Введение

Экономика государства базируется на большом числе фирм, которые по определенным признакам объединяются в отдельные отрасли производства. Возникновение отраслей и, как следствие, отраслевых рынков обусловлено разделением общественного труда. При возникновении отраслей конкуренция как между отдельными фирмами, так и потребителями переходит на межотраслевой уровень (ибо перед потребителем всегда стоит проблема выбора, куда направить свой бюджет: например, на ремонт квартиры — строительная отрасль, на приобретение автомобиля — автостроительная отрасль либо на образование детей — отрасль образование и пр.). При оценке межотраслевой конкуренции важнейшим моментом является переход от одного уровня к другому:

- спрос—предложение при продаже—покупке одного продукта (миллионы продавцов—покупателей и такое же число переменных в модели);
- спрос—предложение внутри отраслевого рынка как объединения фирм и потребителей однородных продуктов;
- спрос—предложение между отраслями внутри региона, государства;
- спрос—предложение между регионами, государствами как объединения отдельных отраслей.

При переходе от одного уровня к другому уровню рынка по иерархии возникает желание объединить (агрегировать) усилия производителей и потребителей в математической модели рынка, тем более что такой прием является общепринятым — вся статистика построена на этом. Но статистическая отчетность оперирует информацией

за прошедшие периоды времени. А модели рынка оперируют информацией, которая будет в будущем. Поэтому возникла необходимость разработки алгоритма агрегации информации при переходе от одного уровня рынка к другому.

Моделированию рыночных механизмов уделяется достаточно большое внимание как в отечественной, так и зарубежной литературе [1—3]. Анализ этой проблемы в настоящее время представлен в [4]. Здесь рассмотрены экономические механизмы, базирующиеся на теории игр и теории полезности, но надо иметь в виду, что функция полезности (в том числе и квазилинейная [4, стр. 13], которая определяла предпочтения одного индивидуума перед другими, до сих пор не построена. В работе рыночные механизмы, в том числе агрегированные, рассмотрены с использованием векторной оптимизации. В [5] представлена агрегация информации в технических системах, а в работе [6] — агрегация информации в иерархических системах в виде композиционного и декомпозиционного алгоритмов. Аналогичный подход используем при агрегации информации в рыночных системах, сохраняя целенаправленность отдельных субъектов рынка.

Цель данной работы состоит в построении агрегированной модели и разработке методологии моделирования агрегированного рынка. Для реализации сформулированной цели использована модель рынка [7], учитывающая баланс совокупного спроса и предложения для различных рыночных структур и целенаправленность участников рынка (производителей и потребителей), а также композиционные и декомпозиционные алгоритмы. Для решения векторных задач оптимизации, лежащих в основе представленных моделей, использованы методы, основанные на нормализации критериев и принципе гарантированного результата [7, 8]. Агрегированная модель рынка, во-первых, учитывает агрегированный баланс между спросом и предложением, во-вторых, сохраняет целенаправленность каждого участника рынка, т. е. целенаправленность субъектов нижнего уровня иерархии. Технология моделирования агрегированного рынка показана на тестовых примерах.

Общий подход к построению математической модели агрегированного рынка

Рынок — это система экономических взаимоотношений между производителями и потребителями продукции, определяемая свободными ценами на товар в зависимости от спроса и предложения, в экономико-организационном плане может рассматриваться как многоуровневая иерархическая система.

При переходе от одного уровня рынка к другому по иерархии возможна агрегация информации (по каждому участнику рынка — по всем произ-

водителям и потребителям) в определенной последовательности:

- от видов участников рынка и объемов изделий, участвующих в купле—продаже, к показателям, характеризующим участников рынка в целом (задача первого уровня агрегации);
- от показателей, характеризующих участников рынка в целом, к однородной продукции отрасли (задача второго уровня агрегации);
- от однородной продукции отрасли к многоотраслевым рынкам и т. д.

Покажем агрегацию информации на примере задачи первого уровня, для чего рассмотрим математическую модель однопродуктового рынка [7, 9] и представим ее в виде векторной задачи математического (в данном случае линейного) программирования:

$$\text{opt} F(X(t)) = \{\max_{q=1, \overline{Q}} f_q(X(t)) = \sum_{l=1}^L p_{ql} x_{ql}(t), \quad (1)$$

$$\min_{l=1, \overline{L}} f_l(X(t)) = \sum_{q=1}^Q c_{ql} x_{ql}(t), \quad l = \overline{1, L}; \quad (2)$$

$$\max_{q=1, \overline{Q}} f_{\Sigma q}(X(t)) = \sum_{q=1}^Q \sum_{l=1}^L p_{ql} x_{ql}(t); \quad (3)$$

$$\min_{l=1, \overline{L}} f_{\Sigma l}(X(t)) = \sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q c_{ql} x_{ql}(t); \quad (4)$$

$$b_l^{\min} \leq \sum_{q=1}^Q c_{ql} x_{ql}(t) \leq b_l^{\max}, \quad l = \overline{1, L}; \quad (5)$$

$$\sum_{l=1}^L a_{ql} x_{ql}(t) \leq b_q, \quad q = \overline{1, Q}; \quad (6)$$

$$z_{ql}(t) \geq 0, \quad q = \overline{1, Q}, \quad l = \overline{1, L}, \quad (7)$$

где $F(X)$ — векторный критерий, определяющий в совокупности цели производителей, потребителей и системные цели; $X(t) = \{x_{ql}(t), q = \overline{1, Q}, l = \overline{1, L}\}$ — вектор переменных (управляющие переменные), определяющий объемы продукта, купленные l -м потребителем у q -го производителя (фирмы) в t -м году; q, l — индексы, Q, L — числа, характеризующие множества производителей и потребителей соответственно;

(1) — критерии множества Q производителей, каждый из которых максимизирует свои прибыли от производства и продажи одного продукта, $p_q = (c_q - a_q)$ — прибыль, получаемая при производстве единицы продукции q -м производителем, c_q, a_q — цена и общие затраты у q -го производителя, $q = \overline{1, Q}$;

(2) — критерии множества L потребителей, каждый из которых минимизирует свои затраты за счет стоимости покупаемой продукции;

(3), (4) — показатели K^s (которые используются как критерии), отражающие системные факторы — совокупное (суммарное) предложение и спрос соответственно, т. е. множество системных критериев K^s в данной модели состоит из двух критериев;

(5) — ограничения по бюджетным (финансовым) возможностям L потребителей, $b_l^{\min}, b_l^{\max}$, $l = \overline{1, L}$ — минимальные и максимальные финансовые возможности l -го потребителя;

(6) — ограничения по производственным мощностям Q производителей, b_q , $q = \overline{1, Q}$, — финансовые возможности q -го производителя;

(7) — ограничения, связанные с не отрицательностью объемов произведенной и проданной продукции.

Задача (1)–(7) представляет модель рынка на дискретный период планирования $t \in T$.

В этой задаче множество всех критериев (1)–(4) K представляет объединение множеств индексов критериев производителей (Q), потребителей (L) и системных критериев ($K^s: K = Q \cup L \cup K^s$), не-которая часть критериев K максимизируется, а часть минимизируется, поэтому вводится обозначение орт, включающее в себя $\max$ и $\min$.

Для решения векторной задачи линейного программирования (1)–(7) используются методы, основанные на нормализации критериев и принципе гарантированного результата, которые дают возможность решать задачи при равнозначных критериях и заданном приоритете критерия [2, 4].

В результате решения задачи (1)–(7) — модели однопродуктового рынка — при равнозначных критериях получим:

- точку оптимума $X^0 = \{x_{ql}^0, q = \overline{1, Q}, l = \overline{1, L}\}$ объемов продуктов, произведенного и проданного каждым производителем каждому потребителю в период времени $t \in T$;
- целевые функции $f_k(X^0)$, $k = \overline{1, K}$, в том числе $f_q(X^0)$, $q = \overline{1, Q}$, определяют прибыли каждого производителя; $f_l(X^0)$, $l = \overline{1, L}$, определяют затраты каждого покупателя;
- суммарный объем продаж всех производителей и финансовых затрат всех потребителей, которые равны между собой:

$$\begin{aligned} f_{\Sigma q}(X^0) &= \sum_{q=1}^Q \sum_{l=1}^L (p_{ql} + a_q) x_{ql}^0 = \\ &= f_{\Sigma l}(X^0) = \sum_{l=1}^L \sum_{q=1}^Q c^0 x_{ql}^0, \end{aligned}$$

т. е. суммарное предложение $f_{\Sigma q}(X^0)$ равно суммарному спросу $f_{\Sigma l}(X^0)$. Заметим, что состояние рынка X^0 , при котором спрос равен предложению,

нию, называется равновесным, а цена c_q , при которой достигается равенство спроса и предложения, называется равновесной ценой;

- нормализованные значения целевых функций:

$$\lambda_k(X^0) = \frac{f_k(X^0) - f_k^0}{f_k^* - f_k^0}, k = \overline{1, K}, \text{ где } f_k^* \text{ — наилучшее}$$

решение по k -му критерию, f_k^0 — наихудшее;

- максимальную относительную оценку λ^0 , которая является максимальным нижним уровнем, до которого подняты обоюдные интересы всех производителей и потребителей в относительных оценках $\lambda_k(X^0)$, другими словами, λ^0 является гарантированным результатом в относительных единицах, который гарантирует, что в полученной оптимальной точке X^0 все критерии равны или лучше λ^0 :

$$\lambda^0 \leq \lambda_k(X^0), k = \overline{1, K}, X^0 \in S,$$

где S — множество допустимых точек.

Любое увеличение интересов (критерия) какого-либо производителя или потребителя приводят к ухудшению оставшихся участников рынка, т. е. точка X^0 оптимальна по Парето.

Вектор-функция $F_1(X) = \{f_q(X^0), q = \overline{1, Q}\}$ представляет собой вектор-функцию предложения, а вектор-функция $F_2(X) = \{f_l(X^0), l = \overline{1, L}\}$ — вектор-функцию спроса.

Размерность представленной задачи достаточно высока. Это связано с тем, что критерий и ограничение каждого потребителя содержит Q переменных. Критерий каждого производителя содержит L переменных, ограничение каждого производителя, определяющее мощности и ресурсные затраты, также содержит L переменных в соответствии с числом потребителей, т. е. размерность задачи будет равна $2LQ + 2QL$ при условии, что ограничение каждого производителя будет представлено одним неравенством. Отсюда легко представить модель и, соответственно, задачу для относительно небольшого рынка, например, $QL = 10 \cdot 100$. И если в качестве переменной взять деятельность производителя $q \in Q$ (где Q — множество производителей), то размерность задачи сократится в 100 раз, поэтому и возникает потребность в агрегации показателей в модели рынка.

Агрегация информации в общем виде в задаче (1)–(7) выполняется в четыре этапа.

Этап 1. Формирование исходной информации. Для этого решается задача (1)–(7) по каждому критерию, т. е. по каждому потребителю (Q раз), производителю (L раз) и системным критериям (K^s раз). На результаты решения оказывают влияние только свои собственные ограничения, т. е. размерность каждой задачи относительно невелика, но их общее число равно $Q + L + 2$.

Этап 2. Формирование агрегированного вектора переменных. Для агрегации предлагается использовать показатель $f_q(X_q)$, характеризующий деятельность q -го производителя, $q = \overline{1, Q}$. Этот показатель и будет переменной в агрегированной задаче:

$$y_q = f_q(X_q), q = \overline{1, Q}. \quad (8)$$

В совокупности они представляют агрегированный вектор переменных: $Y = \{y_q, q = \overline{1, Q}\}$, каждая компонента которого функционально зависит от показателя $f_q(X_q)$, а этот показатель, в свою очередь, зависит от вектора переменных $X_q = \{x_j, j = \overline{1, N_q}\}$, $q = \overline{1, Q}$.

Этап 3. Формирование агрегированной модели (композиция) и ее решение. Этот этап распадается, в свою очередь, на три шага:

а) формируется векторная целевая функция (векторный критерий) $F(Y)$. В этом критерии каждая компонента функционально зависит от соответствующих компонент агрегированного вектора $Y = \{y_q, q = \overline{1, Q}\}$:

$$F(Y) = \{f_k(Y), k = \overline{1, K^+}\}, \quad (9)$$

где K^+ — число, характеризующее K^+ — множество индексов компонент векторного критерия.

Множество критериев K^+ образовано на пересечении одинаковых критериев производителей K_q , $q \in Q$, которые функционально зависят от объединения переменных y_q , $q \in Q$:

$$K^+ = \bigcap_{q \in Q} K_q, Y = \bigcup_{q \in Q} y_q; \quad (10)$$

б) формирование агрегированных глобальных ограничений. Агрегация выполняется аналогично (9), в итоге получим:

$$G(Y) = \{f_q(G_q(X_q), q = \overline{1, Q}\};$$

в) с использованием формул (9), (10) формируется композиционная задача:

$$\text{opt}(F(Y) = \{f_k(Y), k = \overline{1, K^+}\}) \\ \text{при ограничениях } G(Y) \leq B.$$

Полученная задача решается стандартными методами.

Этап 4. Разработка окончательного решения по каждому участнику рынка. Результаты решения задачи (12)–(13) (см. ниже) вводятся в модель каждого участника рынка, получившаяся задача решается индивидуально, т. е. выполняется декомпозиционная процедура решения.

Математическое моделирование многоуровневого рынка

Моделирование многоуровневого рынка, объединяющего несколько рынков, покажем на кон-

кретном примере в виде векторной задачи линейного программирования (ВЗЛП). Решение представим в несколько этапов:

- постановка задачи — построение модели рынка;
- решение ВЗЛП при равнозначных критериях;
- анализ результатов решения;
- построение агрегированной задачи и ее решение;
- принятие окончательного решения.

Постановка задачи

Дано: многопродуктовый рынок (его также можно рассматривать как многоотраслевой) представлен четырьмя рыночными структурами $r = \overline{1, R}$, $R = 4$: монополистическая конкуренция, олигополия, монополия, монополия.

Монополистическая конкуренция — это рынок, на котором имеется много конкурирующих фирм, предлагающих дифференцированные товары. Каждая фирма на своем участке определяет свою цену политику и т. п. Исследование рынка монополистической конкуренции $r = 1$ выполнено в [3], здесь же приведены параметры рынка, которые будем использовать при построении многопродуктового рынка, — они представлены критериями (11) и ограничениями (16).

Олигополия — это такая рыночная структура, при которой доминирует небольшое число продавцов, а вход в отрасль новых производителей ограничен высокими барьерами. Товары, выпускаемые олигополией, могут быть как стандартными, так и дифференцированными. Исследование рынка олигополия $r = 2$ выполнено в [3], здесь же приведены параметры рынка, которые также используем при построении рынка, — они представлены критериями (12) и ограничениями (17).

Монополия — это тип отраслевого рынка, на котором существует единственный продавец товара, не имеющего близких заменителей. Монополист осуществляет контроль над ценой и объемами выпуска, что позволяет ему получать монопольную прибыль. Модель монополии $r = 3$ представим в виде ВЗЛП:

$$\text{opt}F_3(X) = \{\max f_9(X) = 10x_9 + 10x_{10} + 10x_{11} +$$

$+ 10x_{12}$ (единственный продавец),

$$\min f_{10}(X) = 50x_9 + 60x_{11},$$

$$\min f_{11}(X) = 50x_{10} + 60x_{12}\} \text{ (покупатели)}$$

при ограничениях $3500 \leq 50x_1 + 60x_3 \leq 5000$,

$$3500 \leq 50x_2 + 60x_4 \leq 5000,$$

$$40x_1 + 40x_2 + 50x_3 + 50x_4 \leq 10000,$$

указанные параметры рынка представлены в общей модели (11)—(20) критериями (13) и ограничениями (18).

Монополия — это тип отраслевого рынка, на котором существует единственный потребитель

товара и множество его производителей (продавцов). Модель рынка монополии $r = 4$ выглядит аналогично и представлена критериями (14) и ограничениями (19).

Каждый из рынков представлен двумя товарами, которые производят два производителя и покупают два потребителя на период $t \in T$. Совокупная деятельность каждого рынка определяется системными показателями спроса—предложения (на модели они не показаны). Поэтому по существу модель (1)—(7), представленная ниже, — трехуровневая:

участники рынка (производители—потребители)—рынок—объединение рынков.

Требуется определить объемы производства с тем, чтобы доход и прибыль каждого участника рынка были как можно выше. Составить математическую модель рынка в виде векторной задачи и решить ее. Использовать полученный результат как основу для сравнения. Построить агрегированную модель рынка (композиционную задачу). Решить ее. Построить декомпозиционную модель и провести моделирование.

Построение модели. Перед исследователем рынка стоит задача определения оптимальной номенклатуры и объемов продукции, выпускаемой и покупаемой участниками рынка, с учетом того, чтобы их экономические показатели были как можно выше. Обозначим:

$r = \overline{1, R}$ — индекс и множество локальных рынков;

X_r — вектор объемов продукции, выпускаемой на r -м рынке;

$X = \{X_r = \{x_j, j = \overline{1, 4}\}, r = \overline{1, 4}\}$ — вектор объемов продукции, выпускаемой всеми участниками отдельного рынка и объединением рынков, т. е. вектор X включает 16 переменных.

В соответствии с исходными данными по каждому участнику рынка [3] представим векторную задачу линейного программирования — модель многопродуктового рынка:

$$\begin{aligned} \text{opt}F_1(X) &= \{\max f_1(X) = 10x_1 + 10x_2, \\ \max f_2(X) &= 10x_3 + 10x_4, \min f_3(X) = 50x_1 + 50x_3, \\ \min f_4(X) &= 50x_2 + 50x_4\}; \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{opt}F_2(X) &= \{\max f_5(X) = 10x_5 + 10x_6, \\ \max f_6(X) &= 10x_7 + 10x_8, \min f_7(X) = 50x_5 + 60x_7, \\ \min f_8(X) &= 50x_6 + 60x_8\}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{opt}F_3(X) &= \{\max f_9(X) = 10x_9 + 10x_{10} + \\ &+ 10x_{11} + 10x_{12}, \min f_{10}(X) = 50x_9 + 60x_{11}, \\ \min f_{11}(X) &= 50x_{10} + 60x_{12}\}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{opt}F_4(X) &= \{\max f_{12}(X) = 10x_{13} + 10x_{14}, \\ \max f_{13}(X) &= 10x_{15} + 10x_{16}, \\ \min f_{14}(X) &= 50x_{13} + 50x_{14} + 60x_{15} + 60x_{16}\}; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{opt} F_5(X) = \{\max f_{15}(X) = 10x_1 + 10x_2 + 10x_3 + \\ + 10x_4 + 10x_5 + 10x_6 + 10x_7 + 10x_8 + 10x_9 + \\ + 10x_{10} + 10x_{11} + 10x_{12} + 10x_{13} + 10x_{14} + 10x_{15} + \\ + 10x_{16}, \min f_{16}(X) = 50x_1 + 50x_2 + 50x_3 + \\ + 50x_4 + 50x_5 + 50x_6 + 60x_7 + 60x_8 + 50x_9 + \\ + 50x_{10} + 60x_{11} + 60x_{12} + 50x_{13} + 50x_{14} + \\ + 60x_{15} + 60x_{16}\}; \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} 3500 \leq 50x_1 + 50x_3 \leq 5000, 3500 \leq 50x_2 + \\ + 50x_4 \leq 5000, 40x_1 + 40x_2 \leq 5000, \\ 40x_3 + 40x_4 \leq 5000; \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} 3500 \leq 50x_1 + 60x_3 \leq 5000, 3500 \leq 50x_2 + \\ + 60x_4 \leq 5000, 40x_1 + 40x_2 \leq 5000, \\ 50x_3 + 50x_4 \leq 5000; \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} 3500 \leq 50x_1 + 60x_3 \leq 5000, 3500 \leq 50x_2 + \\ + 60x_4 \leq 5000, 40x_1 + 40x_2 + 50x_3 + \\ + 50x_4 \leq 10000; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} 7000 \leq 50x_1 + 50x_2 + 60x_3 + 60x_4 \leq 10000, \\ 40x_1 + 40x_2 \leq 5000, 50x_3 + 50x_4 \leq 5000; \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} 7000.0 \leq 50x_1 + 50x_2 + 50x_3 + 50x_4 + \\ + 50x_5 + 50x_6 + 60x_7 + 60x_8 + 50x_9 + \\ + 50x_{10} + 60x_{11} + 60x_{12} + 50x_{13} + 50x_{14} + \\ + 60x_{15} + 60x_{16} \leq 40000.0. \end{aligned} \quad (20)$$

Здесь (11), (16) — рынок монополистической конкуренции;

(12), (17) — рыночная структура олигополии и параметры рынка из [3];

(13), (18) — отраслевой рынок — монополия;

(14), (19) — отраслевой рынок — монополия;

(15) — показатели, отражающие системные факторы — суммарные предложение и спрос, соответственно, объединенного рынка;

(16)—(19) — ограничения по финансовым возможностям L потребителей и производственным мощностям Q производителей на рынках: монополистической конкуренции, олигополии, монополии и монополии;

(20) — системное ограничение, определяющее общий бюджет рынка.

Иллюстрацию метода агрегации (композиции и декомпозиции) для модели рынка (11)—(20) представим в четыре этапа:

1) решение векторной задачи, описывающей рынок (11)—(20) в целом, результат решения будет в дальнейшем служить эталоном;

2) композиция отдельных моделей участников рынка (производителей—потребителей) в агрегированную модель рынка;

3) декомпозиция агрегированной модели участников рынка;

4) сравнение результатов решения векторной задачи, полученной на первом этапе, и агрегированной модели.

Этап 1. Решение векторной задачи, описывающей рынок в целом

Решение задачи линейного программирования (11)—(20) выполним в системе MatLab в соответствии с алгоритмом решения ВЗЛП на основе нормализации критериев и принципа гарантированного результата.

Результаты решения λ -задачи (векторной задачи (11)—(20)):

- оптимальные значения переменных: $X^0 = \{\lambda^0 = 0,539; x_1 = 41,9, x_2 = 41,9, x_3 = 41,9, x_4 = 41,9, x_5 = 48, x_6 = 48., x_7 = 29,8, x_8 = 29,8, x_9 = 83,8, x_{10} = 83,8, x_{11} = 0, x_{12} = 0, x_{13} = 48., x_{14} = 48., x_{15} = 29,8, x_{16} = 29,8\};$
- максимальная относительная оценка (оптимальное значение целевой функции).

Выполним проверку — определим величины $f_k(X^0)$ и $\lambda_k(X^0)$, $k = 1, K$, (которые в MatLab обозначим fX^0 и LX^0) в точке X^0 . В системе MatLab выполняются следующие действия:

$fX^0(1) = F(1,:)*X^0$, — величина первого критерия в точке X^0

....

$fX^0(16) = F(16,:)*X^0$; — величина шестнадцатого критерия в X^0

$LX^0(1) = (fX^0(1) - fo1)/d1$, — первая относительная оценка в точке X^0

....

$LX^0(16) = (fX^0(16) - fo16)/d16$. — шестнадцатая отн. оценка в точке X^0

В итоге получим:

$$f_1(X^0) = 838, \lambda_1(X^0) = 0,625;$$

$$f_2(X^0) = 838, \lambda_2(X^0) = 0,625;$$

$$f_3(X^0) = 419, \lambda_3(X^0) = 0,539;$$

$$f_4(X^0) = 419, \lambda_4(X^0) = 0,539;$$

$$f_5(X^0) = 960, \lambda_5(X^0) = 0,724;$$

$$f_6(X^0) = 597, \lambda_6(X^0) = 0,539;$$

$$f_7(X^0) = 419, \lambda_7(X^0) = 0,539;$$

$$f_8(X^0) = 419, \lambda_8(X^0) = 0,539;$$

$$f_9(X^0) = 167, \lambda_9(X^0) = 0,612;$$

$$f_{10}(X^0) = 419, \lambda_{10}(X^0) = 0,539;$$

$$f_{11}(X^0) = 419, \lambda_{11}(X^0) = 0,539;$$

$$f_{12}(X^0) = 960, \lambda_{12}(X^0) = 0,724;$$

$$f_{13}(X^0) = 597, \lambda_{13}(X^0) = 0,5392;$$

$$\begin{aligned}f_{14}(X^0) &= 8383, \lambda_{14}(X^0) = 0,5392; \\f_{15}(X^0) &= 6467, \lambda_{15}(X^0) = 0,5392; \\f_{16}(X^0) &= 33530, \lambda_{16}(X^0) = 0,5392.\end{aligned}$$

Эти результаты показывают, что в точке X^0 все критерии в относительных единицах достигли уровня $\lambda^0 = 0,5392$ или выше от своих оптимальных величин. Любое увеличение одного из критериев выше этого уровня приводит к уменьшению другого критерия, т. е. точка X^0 оптимальна по Парето. λ^0 является гарантированным результатом для всех критериев, он показывает, что в точке X^0 справедливо $\lambda^0 \leq \lambda_k(X^0)$, $k \in K$.

λ^0 и X^0 будут в дальнейшем служить эталоном для анализа результата решения агрегированной модели.

Этап 2. Композиция моделей участников рынка в агрегированную модель рынка

Построение композиционной модели включает в себя три блока:

- расчет коэффициентов агрегации для всех участников рынка;
- построение и расчет агрегированных моделей каждого рынка;
- построение и расчет агрегированной модели λ -задачи объединенного рынка.

Блок 1. Расчет коэффициентов агрегации для всех участников всех рынков

Шаг 1. Расчет моделей отдельных участников рынка, т. е. решается векторная задача (11)–(20) при равнозначных критериях для каждого рынка $q = \overline{1, Q}$ (в примере $Q = 4$).

Результаты решения представлены на первом этапе.

Шаг 2. Выбирается ведущий критерий $v \in K^+$, $K^+ = \cap K_q$. В качестве ведущего критерия предлагается использовать показатель y_v , который характеризует деятельность каждого производителя на рынке. В нашем примере семь производителей (участников рынка) с соответствующими критериями $y_q = f_q(X)$, $q = 1, 2, 5, 6, 9, 12, 13$.

Обозначим: $y_q^* = f_q(X_q^*)$, $y_q^0 = f_q(X_q^0)$, $q = \overline{1, Q}$.

Тогда ведущий критерий $v \in K^+$ для всех $q = \overline{1, Q}$ будет лежать в пределах

$$f_{vq}(X_q^0) \leq f_{vq}(X_q) \leq f_{vq}(X_q^*), v \in K^+, q = \overline{1, Q}. \quad (21)$$

В агрегированном виде эти соотношения для ведущего критерия примут вид: $y_q^0 \leq y_q \leq y_q^*$, $q = \overline{1, Q}$.

В нашем примере ведущая переменная по соответствующему критерию изменяется в пределах $0 \leq y_q \leq y_q^*$, $q = \overline{1, Q}$:

$$Y = \{0 \leq y_1 \leq 1250, 0 \leq y_2 \leq 1250,$$

$$0 \leq y_3 \leq 1250, 0 \leq y_4 \leq 1000,$$

$$0 \leq y_5 \leq 2000, 0 \leq y_6 \leq 1250, 0 \leq y_7 \leq 1000\},$$

где $y_1 = f_1(X)$, $y_2 = f_2(X)$, $y_3 = f_5(X)$, $y_4 = f_6(X)$, $y_5 = f_9(X)$, $y_6 = f_{12}(X)$, $y_7 = f_{13}(X)$.

Шаг 3. Определяются коэффициенты агрегации для остальных критериев (участников рынка — потребителей) и устанавливаются для них пределы их изменения:

$$\begin{aligned}f_{kq}(X_q^0) &\leq f_{kq}(X_q) \leq f_{kq}(X_q^*), \\k &= \overline{1, K_q}, q = \overline{1, Q}.\end{aligned} \quad (22)$$

Аналогично для всех ограничений:

$$G_q(X_q^0) \leq G_q(X) \leq G_q(X_q^*), q = \overline{1, Q}. \quad (23)$$

Критерии формируются в виде функциональной зависимости от вектора Y . Например, в системе MatLab вычисление третьего и четвертого критериев будет выглядеть следующим образом:

$$c3 = [-F(3,:)*x1/f1-F(3,:)*x2/f2]; \quad c4 = [-F(4,:)*x1/f1-F(4,:)*x2/f2].$$

Аналогично подсчитываются коэффициенты для остальных критериев и ограничений, например, ограничения для первого рынка следующие:

$$\begin{aligned}a1 &= [-a(1,:)*x1/f1-a(1,:)*x2/f2], \quad a2 = [-a(2,:)*x1/f1-a(2,:)*x2/f2], \\a3 &= [-a(3,:)*x1/f1-a(3,:)*x2/f2], \quad a4 = [-a(4,:)*x1/f1-a(4,:)*x2/f2], \\a5 &= [-a(5,:)*x1/f1-a(5,:)*x2/f2]; \quad a6 = [-a(6,:)*x1/f1-a(6,:)*x2/f2],\end{aligned}$$

а последнее ограничение:

$$\begin{aligned}a23 &= [-a(23,1)*x1(1)/f1-a(23,2)*x1(2)/f1-a(23,3)*x2(3)/f2- \\&a(23,4)*x2(4)/f2...-a(23,5)*x5(5)/f5-a(23,6)*x5(6)/f5-a(23,7)*x6(7)/f6- \\&a(23,8)*x6(8)/f6...-a(23,9)*x9(9)/f9-a(23,10)*x9(10)/f9- \\&a(23,11)*x9(11)/f9-a(23,12)*x9(12)/f9...-a(23,13)*x12(13)/f12- \\&a(23,14)*x12(14)/f12-a(23,15)*x13(15)/f13-a(23,16)*x13(16)/f13].\end{aligned}$$

Для задачи минимизации формируются аналогично свои агрегированные данные.

Блок 2. Построение и расчет агрегированных моделей каждого рынка

Формируются агрегированные задачи для каждого рынка $r = \overline{1, R}$, $R = 4$. Например, для первого рынка $r = 1$ агрегированная векторная задача линейного программирования примет вид:

$$\begin{aligned}\text{opt} F(Y) &= \{\max f_1(Y) = y_1, \max f_2(Y) = y_2, \\&\min f_3(Y) = c3(1)y_1 + c3(2)y_2, \\&\min f_4(Y) = c4(1)y_1 + c4(2)y_2\}\end{aligned}$$

при ограничениях

$$\begin{aligned}a1(1)y_1 + a1(2)y_2 &\leq 5000, \quad a2(1)y_1 + a2(2)y_2 \leq -3500, \\a3(1)y_1 + a3(2)y_2 &\leq 5000, \\a4(1)y_1 + a4(2)y_2 &\leq -3500, \quad a5(1)y_1 + a5(2)y_2 \leq 5000, \\a6(1)y_1 + a6(2)y_2 &\leq 5000, \\y_1 &\leq f1, \quad y_2 \leq f2.\end{aligned}$$

В системе MatLab исходные (агрегированные) данные по этой задаче примут вид:

критерии:

$Fa = [-1.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; 0.0 \ -1.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; \\ c3(1) \ c3(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; c4(1) \ c4(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0];$

ограничения:

$Aa = [a1(1) \ a1(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; a2(1) \ a2(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; \\ a3(1) \ a3(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; a4(1) \ a4(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; \\ a5(1) \ a5(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; a6(1) \ a6(2) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0];$

параметры:

$LBa = [0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0]; UBa = [-f \ 1.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0]; \\ ba = [5000.0 \ -3500.0 \ 5000.0 \ -3500.0 \ 5000.0 \ 5000.0];$

Обращение функции Linprog для решения по первому критерию на max и min:

$[Yopt1, Fopt1] = LINPROG(Fa(1,:), Aa, ba, Aeq, Beq, LBa, \\ UBa); Fun1 = Fa(1,:)*Yopt1 \\ [Yo1, fo1] = LINPROG(-1*Fa(1,:), Aao, ba, Aeq, Beq, LBa, UBa) \\ Fun2 = Fa(1,:)*Yo1,$

где Aao — агрегированная матрица исходных данных для решения задачи на min.

В результате решения получим:

$Yopt1 = \{12500 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0\}, Fopt1 = 12500, \\ Yo1 = \{150 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0\}, fo1 = 150.$

Подобно решается задача по оставшимся критериям $Fa(2,:), Fa(3,:), Fa(4,):$, и на их основе строится и решается λ -задача первого рынка.

Аналогично решаются задачи для каждого рынка $r = 1, 2, 3$.

Сравнивая полученные решения (агрегированный результат) с результатом решения исходной векторной задачей линейного программирования (11)—(20) по первому и остальным критериям, видим, что они (результаты) совпадают. Ошибка аппроксимации весьма мала.

Блок 3. Построение и расчет агрегированной модели λ -задачи

λ -задачу, моделирующую агрегированный объединенный рынок, представим в упрощенном виде (используются только ведущие критерии и системные показатели):

$$\text{opt}F(Y) = \{\max\lambda\},$$

при ограничениях

$$\lambda - (y_1 - f_1^0)/d_1 \leq 0, \lambda - (y_2 - f_2^0)/d_2 \leq 0,$$

$$\lambda - (y_3 - f_3^0)/d_3 \leq 0, \lambda - (y_4 - f_4^0)/d_4 \leq 0,$$

$$\lambda - (y_5 - f_5^0)/d_5 \leq 0, \lambda - (y_6 - f_6^0)/d_6 \leq 0,$$

$$\lambda - (y_7 - f_7^0)/d_7 \leq 0,$$

$$7000 \leq a22(1)y_1 + a22(2)y_2 + a22(3)y_3 + a22(4)y_4 + \\ + a22(5)y_5 + a22(6)y_6 + a22(7)y_7 \leq 35000,$$

$$y_1 \leq f1, y_2 \leq f2, y_3 \leq f5, y_4 \leq f6,$$

$$y_5 \leq f9, y_6 \leq f12, y_7 \leq f13.$$

В системе MatLab исходные (агрегированные) данные по этой λ -задаче примут вид:

критерии:

$Fa = [-1.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0];$

ограничения:

$A0a = [1-1/d(1) \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0; \dots \ 1.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ -1/d(13); \\ 0a22(1) \ a22(2) \ a22(3) \ a22(4) \ a22(5) \ a22(6) \ a22(7); \\ 0a23(1) \ a23(2) \ a23(3) \ a23(4) \ a23(5) \ a23(6) \ a23(7)];$

параметры:

$foo = [-fo1 \ -fo2 \ -fo5 \ -fo6 \ -fo9 \ -fo12 \ -fo13]; \\ LB0a = [0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0]; \\ UB0a = [1 \ -f1 \ -f2 \ -f5 \ -f6 \ -f9 \ -f12 \ -f13]; \\ b0a = [-fo1/d(1) \ -fo2/d(2) \ -fo5/d(5) \ -fo6/d(6) \ -fo9/d(9) \\ -fo12/d(12) \ -fo13/d(13) \ 35000 \ -7000]; \\ b0a0 = [-fo1/d(1) \ -fo2/d(2) \ -fo5/d(5) \ -fo6/d(6) \ -fo9/d(9) \\ -fo12/d(12) \ -fo13/d(13)];$

Обращение функции Linprog для решения λ -задачи:

$[Yagr, Ladr] = LINPROG(Fa, A0a, b0a, Aeq, Beq, LB0a, UB0a).$

В результате решения получим:

$Yagr = \{0,7 \ 898,4 \ 898,4 \ 914,4 \ 694,1 \ 1708,6 \ 893,4 \ 711,6\}, \\ Ladr = 0,6804.$

Выполним проверку (рассчитаем относительные оценки в точке оптимума $Yagr$):

$Lagr_y(1) = (Yagr(2) - fo1)/d(1); \\ Lagr_y(2) = (Yagr(3) - fo2)/d(2); \\ Lagr_y(3) = (Yagr(4) - fo5)/d(5); \\ Lagr_y(4) = (Yagr(5) - fo6)/d(6); \\ Lagr_y(5) = (Yagr(6) - fo9)/d(9); \\ Lagr_y(6) = (Yagr(7) - fo12)/d(12); \\ Lagr_y(7) = (Yagr(8) - fo13)/d(13); \\ F_ish = [f1 \ f2 \ f5 \ f6 \ f9 \ f12 \ f13]; \\ F_opt = [Fopt1 \ Fopt2 \ Fopt5 \ Fopt6 \ Fopt9 \ Fopt12 \ Fopt13]; \\ f_X00 = [fX00(1) \ fX00(2) \ fX00(5) \ fX00(6) \\ fX00(9) \ fX00(12) \ fX00(13)]; \\ 1_X00 = [1X00(1) \ 1X00(2) \ 1X00(5) \ 1X00(6) \ 1X00(9) \ 1X00(12) \ 1X00(13)];$

Сведем полученные результаты в таблицу:

$REZ = [F_isf \ F_opt \ f_X00 \ Y0agr \ f_X00'./Y0agr'*100 \\ 1000*1_X00 \ 1000*Lagr_y']>>$

Обозначения в таблице: F_ish — оптимальные значения показателей, полученные в исходной (не агрегированной) модели; F_opt — оптимальные значения показателей, полученные в агрегированной модели; f_X00 — оптимальные значения показателей, полученные в λ -задаче исходной (не агрегированной) модели; $Y0agr$ — оптимальные значения показателей, полученные в λ -задаче агрегированной модели; X/Y — отклонения оптимальных показателей от единицы в исходной и агрегированной моделях; L_X00 — оптимальные значения относительных показателей, полученных в λ -задаче исходной модели; $Lagr_y$ — оптимальные значения относительных показателей, полученные в λ -задаче агрегированной модели.

Рынок, переменная	F_isf	F_opt	f_X00	Y0agr	X/Y, %	L_X00	Lagr_y
Рынок 1 — y_1	1250,0	1250,0	838,3	898,4	93,3	0,6257	0,6804
Рынок 1 — y_2	1250,0	1250,0	838,3	898,4	93,3	0,6257	0,6804
Рынок 2 — y_3	1250,0	1250,0	960,4	914,4	105,0	0,7242	0,6804

Рынок 2 — y_4	1000,0	1000,0	596,8	694,1	86,0	0,5392	0,6504
Рынок 3 — y_5	2000,0	2000,0	1676,5	1708,6	98,1	0,6118	0,6504
Рынок 4 — y_6	1250,0	1250,0	960,4	893,4	107,5	0,7242	0,6604
Рынок 4 — y_7	1000,0	1000,0	596,8	711,6	83,9	0,5392	0,6704

Этап 3. Декомпозиция агрегированной модели участников рынка

Строится ВЗМП для каждого участника рынка с учетом ограничений, накладываемых на ведущие критерии, полученных в векторе Y_{agr} . В результате решения ВЗМП для каждого участника рынка получаем оптимальные параметры рынка $X^0 = \{x_j, j = \overline{1, N_q}, q = \overline{1, Q}\}$ с соответствующими экономическими показателями $f_k(X^0)$, $k = \overline{1, K}$.

Этап 4. Сравнение результатов решения векторной задачи и агрегированной модели

Сравнивая полученное решение (агрегированный результат), представленный в таблице, с результатом решения исходной векторной задачи линейного программирования (11)–(20), видим, что они (результаты) совпадают. Ошибка аппроксимации весьма мала.

Таким образом, представленная методология построения и моделирования агрегированных рынков в виде векторной задачи математического программирования может использоваться в практических задачах.

Список литературы

1. Моришима М. Равновесие, устойчивость, рост (Многоотраслевой анализ). М.: Наука, 1972. 280 с.
2. Никайдо Х. Выпуклые структуры и математическая экономика. М.: Мир, 1972.
3. Шерер Ф., Росс Д. Структура отраслевых рынков. М.: ИНФРА-М, 1997. 698 с.
4. Измалков С., Сонин К., Юдкевич М. Теория экономических механизмов // Вопросы экономики. 2008. № 1. С. 4–26.
5. Машуний Ю. К. Решение композиционных и декомпозиционных задач синтеза сложных технических систем методами векторной оптимизации // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1999. № 3. С. 88–93.
6. Машуний Ю. К. Теоретические основы и методы векторной оптимизации в управлении экономическими системами. М.: Логос, 2001. 256 с.
7. Машуний Ю. К. Информационные технологии моделирования развития рынка // Информационные технологии. 2005. № 2. С. 20–27.
8. Машуний Ю. К. Информационные технологии моделирования технических систем на базе методов векторной оптимизации // Информационные технологии. 2001. № 9. С. 14–21.
9. Машуний Ю. К. Моделирование развития рынка с учетом статистических функций спроса–предложения // Информационные технологии. 2007. № 4. С. 57–65.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

УДК 621.391

В. А. Бузановский, нач. сектора,
НПО "Химавтоматика", г. Москва

Принципы синтеза информационно-измерительных систем состава и свойств веществ

Рассмотрены вопросы синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ. Сформулированы общие принципы, позволяющие синтезировать системы с требуемыми технико-экономическими характеристиками.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, вещество, физико-химический состав, физико-химическое свойство, синтез.

Информационно-измерительные системы физико-химического состава и свойств веществ получили широкое распространение практически во всех областях человеческой деятельности — промышленности, сельском хозяйстве, обороне, экологии и др.

Синтез указанных систем связан с определением схем построения, удовлетворяющих предъявляемым требованиям, установлением условий их технической реализуе-

мости и проведением работ по реализации названных схем систем. Перечисленные вопросы обсуждаются на протяжении не одного десятилетия. Круг рассматриваемых аспектов расширяется и детализируется. Вместе с тем, относительная частность и односторонность рассмотрения вопросов синтеза, а также некоторая бессистемность их изучения довольно часто приводят к необоснованному занижению технико-экономических характеристик синтезируемых систем. При этом общие принципы синтеза систем указанного класса продолжают находиться на стадии становления, оставаясь научной проблемой, имеющей важное хозяйственное значение.

Для формирования общих принципов синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ требуется:

- провести классификацию названных систем;
- выделить базовые системы, проанализировать и обобщить их структурные схемы;
- исследовать технико-экономические характеристики базовых систем;
- классифицировать задачи синтеза систем рассматриваемого класса и разработать обобщенные алгоритмы решения типовых задач синтеза.

Классификация систем

При классификации информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств ве-

ществ в качестве отличительного признака выбрана совокупность выполняемых ими функций, и данный класс систем разделен на три подкласса:

- информационно-измерительные системы первого уровня;
- информационно-измерительные системы второго уровня;
- управляющие информационно-измерительные системы.

Подкласс управляющих информационно-измерительных систем характеризуется наличием функций организации и управления потоками информации, поступающей от систем второго уровня.

Системы второго уровня осуществляют получение и обработку измерительной информации. Этот подкласс систем может быть разделен на две главные группы: системы с комплексной обработкой информации и системы с основной обработкой информации. Системы с комплексной обработкой информации используют комбинации основных видов ее обработки — формирование и представление в виде документов заданного образца, программных продуктов, световой и (или) звуковой сигнализации.

Подкласс систем первого уровня предназначен только для получения измерительной информации. Вследствие этого системы данного подкласса часто называют измерительными системами [1]. Системы первого уровня подразделяют на две главные группы — системы разноименных и системы одноименных веществ. Системы разноименных веществ являются объединением нескольких систем одноименных веществ. Системы одноименных веществ, в свою очередь, разделяются на две основные группы — многоточечные и одноточечные системы. Если в многоточечных системах не используется переключение точек измерений, они представляют собой объединение нескольких одноточечных систем. При использовании переключения многоточечные системы содержат одну одноточечную систему.

Одноточечные системы могут получать измерительную информацию по методикам выполнения измерений, базирующимся на совместном проведении прямых, косвенных и совокупных измерений (группа комбинированных систем), или по методикам, основанным на их раздельном выполнении (группа базовых систем). Комбинированные системы являются объединением базовых систем, а группа базовых систем распадается на три подгруппы: системы на основе прямых измерений; системы на основе косвенных измерений; системы на основе совокупных измерений.

Следует заметить, что при определении физико-химического состава и свойств веществ прямые измерения получили наибольшее распространение. Косвенные измерения являются менее распространенными, но при отсутствии возможности проведения прямых измерений или несоответствии их характеристик предъявляемым требованиям имеют особую ценность. Совокупные измерения получили ограниченное распространение, в то время как совместные измерения практически не применяются.

В зависимости от того, предусматривают ли методики выполнения измерений операции по преобразованию пробы, каждая подгруппа базовых систем разделяется на системы трех типов (табл. 1).

Согласно сказанному системы первого уровня обязательно присутствуют в составе информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств

Таблица 1

Базовые информационно-измерительные системы

Тип системы	Методики выполнения измерений, реализуемые базовыми системами					
	на основе прямых измерений		на основе косвенных измерений		на основе совокупных измерений	
	без преобразования пробы	с преобразованием пробы	без преобразования пробы	с преобразованием пробы	без преобразования пробы	с преобразованием пробы
1.1	—	+	—	—	—	—
1.2	+	—	—	—	—	—
1.3	+	+	—	—	—	—
2.1	—	—	—	+	—	—
2.2	—	—	+	—	—	—
2.3	—	—	+	+	—	—
3.1	—	—	—	—	—	+
3.2	—	—	—	—	+	—
3.3	—	—	—	—	+	+

веществ либо в качестве автономных измерительных систем, либо в качестве измерительных подсистем систем второго уровня или управляющих информационно-измерительных систем. Помимо этого получение любой измерительной информации о физико-химическом составе и (или) свойствах веществ осуществляется системами, являющимися или содержащими в своем составе базовые системы девяти типов (табл. 1).

Обобщенные структурные схемы базовых систем

При анализе структурных схем базовых систем установлено, что их основными функциональными частями являются следующие подсистемы: отбора пробы; преобразования пробы; измерений; пересчета информации; расчета результатов косвенных измерений; расчета результатов совокупных измерений. Указанные подсистемы объединяют в себе технические средства для выполнения операций и правил, регламентируемых методиками выполнения измерений. В основе методик (в том числе косвенных и совокупных измерений) лежат операции и правила, направленные на проведение прямых измерений.

Объединение подсистем, предназначенных для получения информации при прямых измерениях, является "простым" измерительным каналом [1]. Число "простых" измерительных каналов базовых систем совпадает с числом параметров исследуемого вещества, определяемых при прямых измерениях.

Объединение "простых" измерительных каналов и подсистемы расчета результатов косвенных (совокупных) измерений, обеспечивающее получение информации при проведении косвенных (совокупных) измерений, принято называть "сложным" измерительным каналом [1]. Число "сложных" измерительных каналов базовых систем совпадает с числом параметров вещества, определяемых при косвенных (совокупных) измерениях.

"Простые" измерительные каналы могут осуществлять "анализ на линии" ("analysis on-line") или "анализ вне линии" ("analysis off-line"). Отличие указанных видов анализа заключается в том, что при проведении "анализа вне линии" получение измерительной информации осуществляется с изъятием части исследуемого вещества, а при проведении "анализа на линии" изъятие части вещества не проводится.

"Простые" измерительные каналы базовых систем для проведения "анализа на линии" содержат только подсистемы измерений. Главной составной частью названных подсистем обычно является средство физико-химических измерений. Измерительные каналы для проведения "анализа вне линии" могут содержать:

- последовательно соединенные подсистемы отбора пробы, подсистемы измерений и подсистемы пересчета информации;
- последовательно соединенные подсистемы отбора пробы, подсистемы преобразования пробы, подсистемы измерений и подсистемы пересчета информации [2].

Подсистемы отбора пробы чаще всего реализуют:

- отбор части вещества в его естественном (газообразном, жидком, твердом) состоянии;
- отбор и фильтрацию части газообразного (жидкого) вещества;
- отбор части жидкого вещества и добавление в нее консерванта;
- отбор и абсорбцию (хемосорбцию) части газообразного вещества жидким поглотителем;
- отбор и экстракцию части жидкого (твердого) вещества жидким реактивом;
- отбор и адсорбцию части газообразного (жидкого) вещества твердым поглотителем.

При этом только первый способ отбора пробы не связан с изменением физико-химического состава отбираемой части вещества.

Подсистемы преобразования пробы используются в случаях, когда:

- измерения информативных параметров пробы не могут быть выполнены непосредственно средствами физико-химических измерений, в том числе если диапазоны измерений указанных средств не соответствуют значениям информативных параметров пробы;
- точность информации о параметрах пробы, получаемой непосредственно с помощью средств физико-химических измерений, не отвечает предъявляемым требованиям, например, вследствие недостаточной чувствительности и (или) селективности названных средств.

Заметим, что под преобразованием пробы понимается широкий круг операций (проведение химических реакций, сорбция, экстракция, разбавление и др.), осуществление которых приводит к изменению ее параметров [3].

Подсистемы пересчета информации предназначены для перевода измерительной информации о физико-химическом составе пробы, полученной в подсистеме измерений, в результаты измерений информативных параметров вещества. Указанные подсистемы обычно реализуются на базе технических средств подсистем измерений. Как самостоятельные функциональные части систем они выделены для того, чтобы более наглядно интерпретировать процесс получения измерительной информации.

В результате анализа, систематизации и обобщения структурных схем базовых систем определены их обобщенные структурные схемы. Обобщенные структурные схемы отражают общие операции и правила получения измерительной информации, вследствие чего на их ос-

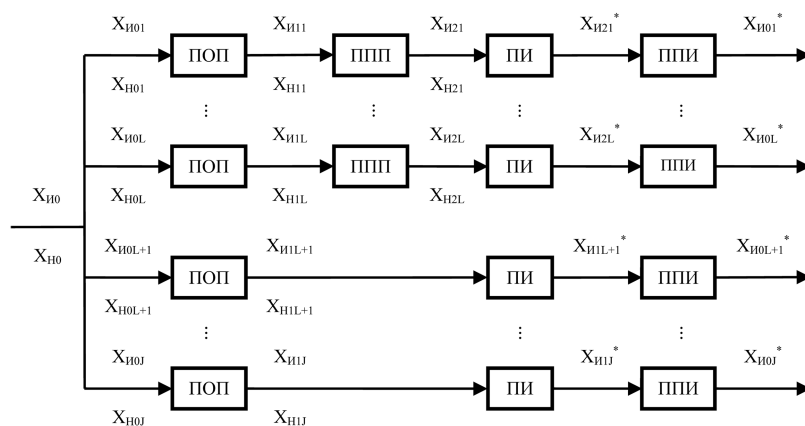


Рис. 1. Обобщенная структурная схема базовых систем типа 1 : 3:

ПОП — подсистема отбора пробы; ППП — подсистема преобразования пробы; ПИ — подсистема измерений; ППИ — подсистема пересчета информации; $X_{И0}$, $X_{И0}$ — множества информативных и неинформативных параметров вещества; $X_{И0t}$, $X_{И1t}$, $X_{И2t}$ — параметры вещества, пробы и преобразованной пробы, информативные для t -го "простого" измерительного канала; $X_{И0t}$, $X_{И1t}$, $X_{И2t}$ — множества параметров вещества, пробы и преобразованной пробы, неинформативных для t -го "простого" измерительного канала; $X_{И0t}^*$, $X_{И1t}^*$, $X_{И2t}^*$ — результаты измерений параметра вещества, пробы, преобразованной пробы, информативного для t -го "простого" измерительного канала; J — число информативных параметров вещества, определяемых на основе прямых измерений (число "простых" измерительных каналов); L — число "простых" измерительных каналов, содержащих подсистему преобразования пробы

нове может быть создано большое число систем, соответствующих названным операциям и правилам, но имеющих различное техническое воплощение (рис. 1).

Типовые задачи синтеза систем и алгоритмы их решения

При анализе результатов исследования технико-экономических характеристик (метрологических, стоимостных, надежности, материалоемкости и энергопотребления) информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ установлено, что они зависят от структурных схем и соответствующих технико-экономических показателей технических средств систем, а также могут зависеть от значений режимных параметров их технических средств.

Из сказанного следует, что синтез систем рассматриваемого класса должен заключаться в нахождении структурных схем, совокупностей технических средств и значений их режимных параметров или в определении только структурных схем и совокупностей технических средств, обеспечивающих соответствие технико-экономических характеристик систем предъявляемым требованиям.

Выделено пять вариантов требований, которые могут предъявляться к синтезируемой системе:

- требования к ее технико-экономическим показателям о соответствии их значений заданным значениям (ограничения синтеза);
- требования по обеспечению наименьшего (наибольшего) значения одной из технико-экономических характеристик системы (критерий синтеза) при отсутствии требований к ее остальным технико-экономическим показателям;
- требования по обеспечению наименьшего (наибольшего) значения одной из технико-экономических характеристик системы (критерий синтеза) при нали-

Таблица 2

Типовые задачи синтеза систем

Тип задачи синтеза	Число критериев синтеза	Наличие ограничений синтеза	Определение		
			структурной схемы	совокупности технических средств	параметров технических средств
1:1	0	+	+	+	+
1:2	1	—	+	+	+
1:3	1	+	+	+	+
1:4	2	—	+	+	+
1:5	2	+	+	+	+
2:1	0	+	+	+	заданы
2:2	1	—	+	+	заданы
2:3	1	+	+	+	заданы
3:1	0	+	+	+	не влияют
3:2	1	—	+	+	не влияют
3:3	1	+	+	+	не влияют

ции требований к ее другим технико-экономическим показателям о соответствии их значений заданным значениям (ограничения синтеза);

- требования по обеспечению наименьшего (наибольшего) значения технико-экономической характеристики системы (основной критерий синтеза) при условии обеспечения наименьшего (наибольшего) значения другого технико-экономического показателя (дополнительный критерий синтеза) и отсутствии требований к ее остальным технико-экономическим характеристикам;
- требования по обеспечению наименьшего (наибольшего) значения технико-экономического показателя системы (основной критерий синтеза) при условии обеспечения наименьшего (наибольшего) значения другой технико-экономической характеристики (дополнительный критерий синтеза) и наличии требований к ее остальным технико-экономическим показателям о соответствии их значений заданным значениям (ограничения синтеза).

Проведена классификация задач синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ, результатом которой явилось выделение одиннадцати типов задач синтеза (табл. 2).

Согласно представленным данным задачи синтеза первого рода (типы 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 и 1 : 5) состоят в нахождении структурных схем, совокупностей технических средств и значений параметров технических средств систем. Задачи синтеза второго рода (типы 2 : 1, 2 : 2 и 2 : 3) и третьего рода (типы 3 : 1, 3 : 2 и 3 : 3) заключаются в определении только структурных схем и совокупностей технических средств систем. При этом задачи синтеза второго рода распространяются на системы, в которых режимные параметры технических средств заданы реализуемыми методиками выполнения измерений, а задачи синтеза третьего рода — на системы, технико-экономические показатели которых не зависят от режимных параметров технических средств.

Разработано обобщенное математическое описание задач синтеза выделенных типов. В частности, обобщенное математическое описание задач синтеза типа 1 : 5 имеет вид

$$\{S^{\bullet}, N^{\bullet}, G^{\bullet}\} = \operatorname{arginf}[Z_1(S_i^{\square}, N_{iu}^{\bullet}, X_{i0}, X_{H0}^{\wedge})],$$

$$N^{\bullet} \rightarrow S^{\bullet}, G^{\bullet} \rightarrow N^{\bullet},$$

$$\{S_i^{\square}, N_{iu}^{\bullet}\} = \operatorname{arginf}[Z_1(S_i^{\square}, N_{iu}^{\square}, X_{i0}, X_{H0}^{\wedge})], G_i^{\bullet} \rightarrow N_i^{\bullet},$$

$$\{S_i^{\square}, N_{iu}^{\square}, G_{iu}^{\wedge}\} = \operatorname{arginf}[Z_2(S_i^{\square}, N_{iu}^{\square}, G_{iu}^{\wedge}, X_{i0}, X_{H0}^{\wedge})],$$

$${}^1R_m^{\circ} \leq R_m(S_i^{\square}, N_{iu}^{\square}, G_{iu}^{\wedge}, X_{i0}, X_{H0}^{\wedge}) \leq {}^2R_m^{\circ},$$

$$S_i^{\square} \rightarrow \{S_i, i = 1, \dots, I\}, N_{iu}^{\square} \rightarrow \{N_{iu}, u = 1, \dots, U_i\},$$

$$G_{iu}^{\wedge} \rightarrow \{G_{iu}^{\wedge}, a = 1, \dots, \bar{U}_i\},$$

$$\{N_{iu}, a = 1, \dots, \bar{U}_i\} \rightarrow \{S_i, i = 1, \dots, I\},$$

$$\{G_{iu}^{\wedge}, u = 1, \dots, \bar{U}_i\} \rightarrow \{N_{iu}, u = 1, \dots, \bar{U}_i\},$$

$${}^1X_{i0}^{\circ} \leq X_{i0} \leq {}^2X_{i0}^{\circ}, {}^1X_{H0}^{\circ} \leq X_{H0}^{\wedge} \leq {}^2X_{H0}^{\circ}, m = 1, \dots, M,$$

где $S^{\bullet}$, $N^{\bullet}$, $G^{\bullet}$ — структурная схема, совокупность технических средств и значения их режимных параметров, соответствующие наименьшим значениям критериев синтеза системы; Z_1 — основной критерий синтеза системы; Z_2 — дополнительный критерий синтеза системы; $N_i^{\bullet}$, $G_i^{\bullet}$ — совокупность технических средств и значения их режимных параметров, соответствующие наименьшему значению основного критерия синтеза системы, построенной по i -й структурной схеме; $G_{iu}^{\bullet}$ — значения режимных параметров u -й совокупности технических средств, обусловленной i -й структурной схемой системы, соответствующие наименьшему значению дополнительного критерия синтеза; R_m — m -е ограничение синтеза системы; 1R_m , 2R_m — границы допускаемых значений m -го ограничения синтеза системы; S_i — символ i -й структурной схемы системы; N_{iu} — символ u -й совокупности технических средств, соответствующей i -й структурной схеме системы; G_{iu} — множество значений режимных параметров u -й совокупности технических средств, соответствующей i -й структурной схеме системы; I — число возможных структурных схем системы; $\bar{U}_i$ — число возможных совокупностей технических средств (число множеств возможных значений режимных параметров технических средств), соответствующих i -й возможной структурной схеме системы; ${}^1X_{i0}$, ${}^2X_{i0}$ — границы допускаемых значений информативных параметров исследуемых веществ; ${}^1X_{H0}$, ${}^2X_{H0}$ — границы допускаемых значений неинформативных параметров исследуемых веществ; M — число ограничений синтеза системы.

Символами $\dots^{\wedge}$, $\dots^{\circ}$ и $\dots^{\square}$ соответственно обозначены номинальные и заданные значения, а также значения, удовлетворяющие ограничениям синтеза. Символ $\rightarrow$ обозначает операцию соответствия.

В результате анализа, систематизации и обобщения задач синтеза установлено, что в общем случае синтез системы должен содержать следующие стадии:

- анализ методик выполнения измерений;
- разработка возможных структурных схем;
- определение возможных совокупностей технических средств;
- оценивание значений технико-экономических характеристик системы;
- выбор варианта ее построения.

В зависимости от предъявляемых требований синтез может заканчиваться определением одного варианта построения системы, определением нескольких вариантов ее построения или отсутствием вариантов построения, соответствующих предъявляемым требованиям. При отсутствии вариантов построения могут быть:

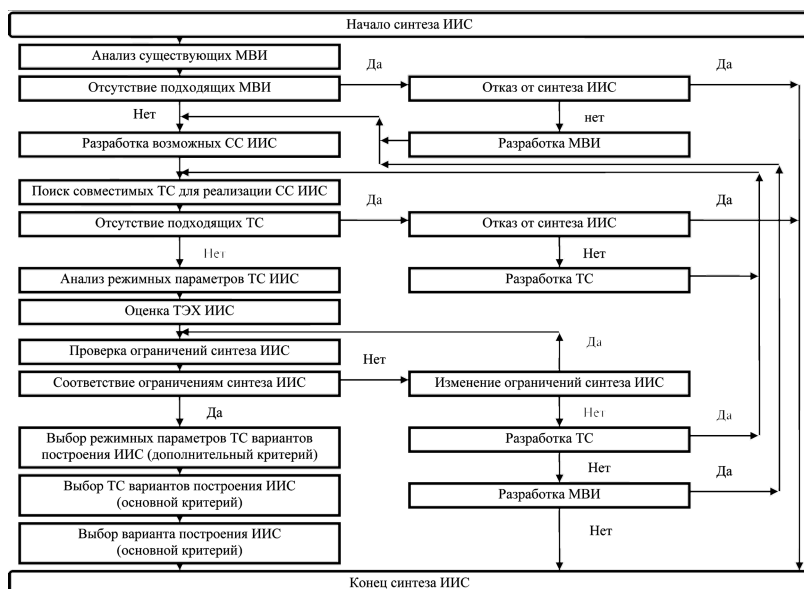


Рис. 2. Блок-схема обобщенного алгоритма решения задач синтеза типа 1 : 5: ИИС — информационно-измерительная система; МВИ — методика выполнения измерений; СС — структурная схема; ТС — техническое средство; ТЭХ — технико-экономическая характеристика

- определены и реализованы показатели технических средств, обеспечивающие технико-экономические характеристики системы, отвечающие предъявляемым требованиям;
- установлены показатели и осуществлена разработка методики выполнения измерений, позволяющей создать систему, соответствующую предъявляемым требованиям;
- проанализированы и изменены требования, предъявляемые к системе.

На основе изложенного разработаны обобщенные алгоритмы решения задач синтеза первого, второго и третьего рода (рис. 2).

Заключение

Представленные результаты позволили сформулировать общие принципы синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ:

- выбор или разработка методик выполнения измерений, соответствующих требованиям, предъявляемым к системам (принцип определения методического обеспечения систем);
- разработка структурных схем систем, позволяющих реализовать выбранные или разработанные методики выполнения измерений (принцип составления структурных схем систем);
- разработка вариантов построения систем в результате выбора или разработки совместимых технических средств, соответствующих структурным схемам систем и предъявляемым требованиям (принцип составления функциональных схем систем);
- оценивание технико-экономических характеристик вариантов построения систем на основе математического моделирования или экспериментального исследования (принцип оценивания технико-экономических показателей систем);

- выбор варианта построения систем, удовлетворяющего требуемым технико-экономическим характеристикам (принцип выбора варианта построения систем).

Следует отметить, что перечисленные принципы конкретизируют аспекты разработки промышленных изделий (отражаемые стандартами Единой системы конструкторской документации) применительно к системам рассматриваемого класса и позволяют синтезировать системы с требуемыми технико-экономическими характеристиками вне зависимости от их назначения или области применения.

Подтверждением сказанному являются результаты, полученные при применении данных принципов в процессе создания следующих устройств и систем:

- автоматизированных систем типа АСВА-П для измерения содержаний нитратов, аммония, марганца, алюминия, магния, кальция, фосфора и калия в почвах [3];
- информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств природного газа АСИК "Метан", АСК "Бентонит", АКР "Севан" [4];
- автоматических хемилюминесцентных устройств типа КЛЕН и ПЛАТАН для детектирования оксидов азота, аммиака, озона, арсина, фосфина в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и газовых выбросах [5, 6];
- рентгенофлуоресцентных химико-аналитических комплексов типа ИНЛАН-РФ для определения концентраций хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, ртути, свинца и висмута в природных и сточных водах, почвах и газовых выбросах [7];
- автоматической системы контроля содержания кислорода в воздухе рабочей зоны 13Ш34.01;
- установки автоматического измерения концентраций азота и гелия в компонентах жидкого ракетного топлива УК-РГ.05.

Список литературы

1. МИ 2438—97. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Системы измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
2. Бузановский В. А. Типизация аналитических систем // Автоматизация химических производств. 1990. № 6. С. 28—31.
3. Бузановский В. А. Разработка метода оптимального проектирования систем аналитического контроля с преобразованием пробы и его применение при создании систем агрохимического назначения. Дис. ... канд. техн. наук. — М.: МИХМ, 1988.
4. Бузановский В. А., Овсепян А. М. Информационно-измерительные системы состава и свойств природного газа // Территория НЕФТЕГАЗ. 2007. № 8. С. 36—43.
5. Бузановский В. А., Булаев А. А., Кораблев И. В. Модель статической характеристики хемилюминесцентного газоанализатора // Автоматизация химических производств. 1989. № 11. С. 16—24.
6. Бузановский В. А., Булаев А. А., Кораблев И. В. Анализ чувствительности хемилюминесцентного газоанализатора // Автоматизация химических производств. 1989. № 11. С. 25—30.
7. Бузановский В. А., Рыжнев В. Ю., Сергеев С. К. и др. Российские экоаналитические комплексы // Экология и промышленность России. 2000. Январь. С. 4—9.

Е. А. Чернецова, канд. техн. наук, доц.,
А. Д. Шишкин, канд. техн. наук, доц.,
 Российский государственный
 гидрометеорологический университет,
 г. Санкт-Петербург

Оптимальное ранговое правило обнаружения объекта

Представлено равномерно наиболее мощное инвариантное правило обнаружения объекта, использующее ранги исходных данных и основанное на сравнении колебаний, поступающих от трех смежных участков наблюдения. Отмечаются свойства устойчивости правила к условиям наблюдения.

Ключевые слова: правила обнаружения, ранговые статистики, упорядоченные выборки, функция распределения, плотность вероятности.

Базой для построения решающих правил обнаружения сигналов, устойчивых по отношению к условиям наблюдения, служат развитые в математической статистике методы проверки сложных гипотез при наличии "мешающих" параметров [1–3], которые позволяют в ряде случаев найти оптимальные правила обнаружения сигналов на фоне шума неизвестной интенсивности (или даже с неизвестным распределением) [4–6]. Важную роль на пути преодоления "априорной трудности" играют ранговые решающие правила обнаружения, которые имеют высокую устойчивость по отношению к условиям наблюдения, так как используют ранговые статистики, учитывающие наиболее стабильные черты распределения исходных данных.

Одной из основных предпосылок, принятых в работах [5, 6] при построении таких правил, является предположение о равенстве распределений для колебаний в двух анализируемых участках при наблюдении только шума в них; наличие же сигнала в одном (строго одном) из этих участков нарушает указанное равенство, так как на составляющую шумового фона накладывается сигнальная составляющая.

В данной работе делается попытка ослабить указанную предпосылку в том отношении, что появление сигнала допускается не только строго в одном из двух наблюдаемых участков, но и на границе между ними (т. е. в обоих участках). Соответствующее ранговое правило обнаружения при этом становится более приспособленным к реальным условиям наблюдения.

Предполагается одновременная обработка статистически независимых колебаний, поступающих от трех смежных участков наблюдения. Это

позволяет допустить появление сигнала на границе двух участков ("раскол" сигнала). Считается, что сигнал с неизвестным законом флуктуаций может появиться либо только во втором или в третьем участке, либо в обоих сразу. Распределение шумового фона полагается неизвестным, но одинаковым для всех трех участков. Для конкретности принимается (хотя это и не обязательно), что приемник осуществляет некогерентную обработку поступающих колебаний, так что исходными наблюдениями служат независимые отчеты U_1, U_2, U_3 огибающих с выхода детектора соответственно трем наблюдаемым участкам.

Естественно считать, что наличие сигнала во втором и третьем участках приводит к стохастическому возрастанию величин U_2 и U_3 по сравнению с величиной U_1 , иными словами, семейство распределений исходных наблюдений является стохастически возрастающим [1]. Последнее условие отвечает практике и в то же время не вызывает заметного сужения класса рассматриваемых распределений входных величин.

При неизвестных распределениях наблюдений $U_i, i = 1, 2, 3$, естественно рассматривать (как и в работах [5, 6]) класс решающих правил, инвариантных к любым преобразованиям исходных величин, сохраняющих их свойство быть одинаково либо различно распределенными. Такими преобразованиями служат любые немонотонные функции исходных наблюдений. Относительно этих преобразований максимальной инвариантной статистикой (максимальным инвариантом — МИ) служит множество рангов величин $U_i, i = 1, 2, 3$, взятых как элементы одной выборки, так что любое инвариантное правило обнаружения базируется на этой ранговой статистике [1]. Отметим, что ранги величин $U_i, i = 1, 2, 3$, неизменны при всех указанных преобразованиях, и их использование позволяет как раз избавиться от необходимости знать точно распределение выборки. Среди трех рангов величин $U_i, i = 1, 2, 3$, достаточно рассматривать только два из них, например ранги r_2 и r_3 величин U_2 и U_3 , поскольку они полностью определяют и ранг величины U_1 .

В соответствии с исходными предпосылками задача обнаружения объекта по сигналам, поступающим по радиоканалу от трех датчиков, может быть сформулирована как проверка следующих сложных гипотез: H_0 — "распределение рангов r_2, r_3 равномерно (сигнала нет)"; H_1 — "распределение рангов r_2, r_3 неравномерно, причем либо одна из величин U_2, U_3 , либо обе стохастически больше величины U_1 (сигнал присутствует во втором или третьем участке либо в них обоих)". Каждый из рангов r_2, r_3 может принимать всего три значения: 1, 2, 3, поэтому при гипотезе H_0 равномерное распределение их равно $P_0(r_2, r_3) = 1/6$.

Обозначим распределение рангов r_2, r_3 при альтернативах H_1 как $P(r_2, r_3)$. Согласно фунда-

ментальной лемме Неймана—Пирсона наиболее мощное ранговое правило проверки гипотез, основанное на статистике (r_2, r_3) , имеет критическую область вида $P(r_2, r_3) > C$, где константа C определяется по заданной вероятности ложной тревоги.

Нетрудно заметить отсюда, что в общем случае не существует равномерно наиболее мощного (РНМ) по значениям отношений сигнал/шум в участках рангового правила проверки этих гипотез, основанного на статистике r_2, r_3 , поскольку ясно, что вероятности $P(r_2, r_3)$ зависят от соотношений сигнал/шум во втором и третьем участках, эта зависимость различна для разных значений r_2 и r_3 и может оказаться немонотонной по величинам r_2, r_3 .

Можно, однако, сузить указанный класс ранговых решающих правил проверки исходных гипотез и найти РНМ правило решения в этом более узком классе. Действительно, допускается появление сигнала в любом одном (втором или третьем) участке наблюдения либо в обоих участках сразу, причем отношения сигнал/шум в этих участках произвольны. Следовательно, решающее правило обнаружения не должно оказывать предпочтения никакой из величин U_2 и U_3 , т. е. должно быть инвариантным к местоположению сигнала среди второго и третьего участков. В терминах рангов r_2 и r_3 сказанное означает, что задача симметрична относительно перестановки величин r_2 и r_3 , причем статистика $r = r_2 + r_3$ служит МИ относительно этой перестановки, так что любое инвариантное к указанному преобразованию величин r_2, r_3 правило решения должно быть основано на r .

Нетрудно убедиться, что в таком более узком классе ранговых решающих правил существует РНМ правило проверки гипотез [1]. Для этого достаточно заметить, что статистика r может принимать всего три значения: 5, 4, 3, причем распределение ее $P(r)$ (равномерное при гипотезе H_0 и равное $P_0(r) = 1/3$) монотонно по r при любой альтернативе H_1 . Последнее следует из того факта, что вероятности $P(r_2, r_3)$ монотонны относительно каждой из величин r_2 и r_3 в отдельности, поскольку семейство распределений исходных наблюдений стохастически возрастает по каждой из величин U_2 и U_3 в отдельности.

Таким образом, РНМ инвариантное ранговое правило проверки гипотез имеет тестовую функцию вида

$$\varphi(r) = \begin{cases} 1, & r > C; \\ \gamma, & r = C; \\ 0, & r < C, \end{cases} \quad (1)$$

где пороговое число C и вероятность γ однозначно определяются по заданной вероятности α ложной тревоги из условия

$$\alpha = E_0[\varphi(r)], \quad (2)$$

где усреднение " E_0 " проводится по распределению $P_0(r)$. Это правило не зависит от параметров сигнала и шума и характеризуется постоянной вероятностью ложной тревоги при любом распределении шума (пороговый уровень при работе). Кроме того, оно нечувствительно к "перемещению" сигнала среди второго и третьего участков наблюдения.

Эффективность правила обнаружения (1), (2) определяется его функцией мощности, показывающей зависимость вероятности правильного обнаружения от отношений сигнал/шум в участках. Эта функция равна

$$\beta = E[\varphi(r)], \quad (3)$$

где усреднение " E " проводится по распределению $P(r)$ статистики r для случая альтернатив H_1 .

Применим рассмотренное правило для обнаружения нефтяного загрязнения на водной поверхности.

Для мониторинга нефтяных загрязнений водной среды необходимо проведение непрерывных наблюдений во времени, исходя из продуманного распределения измерительных средств в пространстве, для чего необходимо использовать распределенную многосенсорную систему дистанционного мониторинга. Она должна работать оперативно, желательно, в реальном масштабе времени. Преимущества развертывания стационарной сети экологического мониторинга по сравнению с судовыми методами исследования заключаются в том, что морские экспедиционные работы в настоящее время стоят очень дорого по сравнению с эксплуатацией стационарных станций наблюдения. Кроме того, использование только судовых методов исследований не позволяет достигнуть необходимой оперативности измерений и непрерывности временных рядов. Однако стационарная сеть станций, входящих в систему мониторинга водной среды, требует наличия каналов связи с береговым центром обработки информации. Прокладка кабелей, по которым информация с донных или плавучих станций могла бы передаваться на береговой пост контроля, является очень дорогой. Существенные трудности связаны также с выводом кабелей на берег. Использование для целей связи дистанционных датчиков с центральным береговым постом, например гидроакустической связи, неэффективно ввиду ее малой пропускной способности и большой потребляемой мощности. Поэтому для целей связи необходимо использовать радиоканал или спутниковую связь. Развитие технологий беспроводных сетей и GPRS позволило осуществлять обмен данными между датчиками в различных точках водной среды и станцией берегового контроля. Однако информационный обмен по радиоканалу порождает проблему обнаружения сигнала с неизвестным законом флуктуации на фоне шумов с неизвестным распределением.

Рассмотрим случай, когда сигнал о нефтяном загрязнении водной поверхности, поступающий от контактного датчика, является сигналом с ре-

леевскими флуктуациями на фоне нормального шума. В отсутствие сигнала распределения огибающих U_i одинаковы и равны

$$p(U_i) = 20U_i \exp(-\theta U_i^2), \quad i = 1, 2, 3, \quad \theta = 1/2\sigma^2,$$

где σ^2 — дисперсия шума на выходе линейного тракта приемника. При наличии сигнала во втором и третьем участках распределения огибающих U_2 и U_3 равны

$$g_i(U_i) = [20U_i/(1 + q_i)] \exp[-\theta U_i^2/(1 + q_i)],$$

где $q_i = v_i^2/\sigma^2$ — отношения сигнал/шум во втором и третьем участках; v_i^2 — мощности сигналов в этих участках, $i = 2, 3$.

Вероятности $P(r_2, r_3)$, а следовательно, и распределение $P(r)$ можно вычислить теперь на базе общих результатов из теории ранговых статистик [1, 3]. Так, вероятность

$$P(r_2, r_3) = \frac{1}{3!} E \left[\frac{g_2(x_2)}{p(x_2)} \frac{g_3(x_3)}{p(x_3)} \right], \quad (4)$$

где $x_2 = x^{(r_2)} < x_3 = x^{(r_3)}$ — упорядоченная выборка, взятая из распределения с плотностью $p(\cdot)$; усреднение "E" проводится по распределению этой упорядоченной выборки, которое равно

$$w(x_1, x_2) = \frac{3!p(x_2)p(x_3)}{(r_2 - 1)!(r_3 - r_2 - 1)!(3 - r_3)!} \times \\ \times [F(x_2)]^{r_2 - 1} [F(x_3) - F(x_2)]^{r_3 - r_2 - 1} [1 - F(x_3)]^{3 - r_3}, \quad (5)$$

где $F(\cdot)$ — функция распределения случайной величины с плотностью $p(\cdot)$.

Используя формулы (4), (5) и плотности $p(\cdot)$ и $g_i(\cdot)$, $i = 2, 3$, можно получить, что

$$P(r = 5) = P(r_2 = 2, r_3 = 3) + P(r_2 = 3, r_3 = 2) = (1 + q_2 + q_3 + q_2 q_3)/b; \\ P(r = 4) = P(r_2 = 1, r_3 = 3) + \\ + P(r_2 = 3, r_3 = 1) = [(1 + q_2)^2/(2 + q_2) + \\ + (1 + q_3)^2/(2 + q_3)]/b; \\ P(r = 3) = P(r_2 = 1, r_3 = 2) + P(r_2 = 2, r_3 = 1) = [(1 + q_2)/(2 + q_2) + (1 + q_3)/(2 + q_3)]/b; \\ b = 3 + 2q_2 + 2q_3 + q_2 q_3.$$

Так, при $\alpha = 1/3$ критическая область решающего правила обнаружения (1), (2) содержит единственную точку $r = 5$ (рандомизация отсутствует), и функция мощности (3) в этом случае равна

$$\beta(q_2, q_3) = P(r = 5) = \\ = (1 + q_2 + q_3 + q_2 q_3)/(3 + 2q_2 + 2q_3 + q_2 q_3).$$

Заметим, что функция мощности симметрична относительно значений q_2 и q_3 , как это и следовало ожидать из построения решающего правила, инвариантного к местоположению сигнала среди второго и третьего участков наблюдения. Она максимальна при $q_2 = q_3$ и минимальна при $q_2 = 0$ или $q_3 = 0$. Соответствующие значения ее для $\alpha = 1/2$ и $q_2 = q_3 = q$, где q — отношение сигнал/шум в участке для решающего правила, в работе [6] равны $(2 + q)/(4 + q)$ и $(12 + 17q + 6q^2)/4(2 + q)(3 + 2q)$.

Сопоставление этих значений с функцией мощности правила работы [6], использующего пару участков, показывает некоторое снижение эффективности правила (1), (2) по сравнению с правилом, приведенным в работе [6]. Это снижение и есть плата за дополнительные свойства инвариантности правила (1), (2), которые состоят в том, что это правило допускает "появление" сигнала в любом из последних двух среди трех участков наблюдения, а также в обоих участках одновременно (в том числе и на границе участков), не требуя об этом факте априорных сведений.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть, что найденное правило обнаружения имеет достаточно высокую устойчивость к условиям наблюдения, поскольку оно:

- обеспечивает неизменную вероятность ложной тревоги при любом (априорно неизвестном) распределении шума;
- инвариантно к закону флуктуации сигнала и местоположению его среди последних двух наблюдаемых участков;
- характеризуется вероятностью правильного обнаружения, зависящей только от отношений сигнал/шум q_2 и q_3 , причем эта вероятность максимальна при любых значениях q_2 и q_3 ;
- сохраняет свою работоспособность при нестационарности шума и сигнала.

Отмеченные свойства правила важны с практической точки зрения и позволяют использовать его при создании автоматических обнаружителей сигнала.

Список литературы

1. Леман Э. Проверка статистических гипотез / Пер. с англ. Ю. В. Прохорова. М.: Наука, 1979.
2. Теория обнаружения сигналов / П. С. Акимов, П. А. Бакут, В. А. Богданович и др. // Под ред. П. А. Бакута. М.: Радио и связь, 1984. 440 с.
3. Гаск Я., Шидак З. Теория ранговых критериев. М.: Наука, 1971.
4. Богданович В. А. Применение принципа инвариантности в задачах обнаружения с априорной неопределенностью // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1973. Т. 16. № 1. С. 43—47.
5. Шишкин А. Д. Инвариантное правило обнаружения целей для РЛС с высоким разрешением // Радиотехника и электроника. 1974. Т. 19. № 7. С. 1524—1526.
6. Прокофьев В. П. Асимптотически оптимальный обнаружитель флуктуирующих сигналов в шумах неизвестной интенсивности // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1971. Т. 14. № 6.

Н. Е. Балакирев, канд. техн. наук, проф.,
"МАТИ"—РГТУ имени К. Э. Циолковского,
М. А. Малков, ст. инженер-программист,
ЗАО ИВЦ ИНСОФТ
maksi-malkov@yandex.ru

Метод идентификации голосового сообщения

Предложен новый метод идентификации, основанный на совместном использовании нескольких составляющих голосового сообщения, представлена его структурная схема, перечислены основные сферы применения реализующего его устройства.

Ключевые слова: голос, голосовое сообщение, идентификация голосового сообщения, метод идентификации голосового сообщения.

Введение

Множество существующих подходов к определению речи могут быть разделены на два больших класса [6]. К первому относятся подходы, описывающие речь с точки зрения ее информационного содержания, а ко второму — рассматривающие речь как акустический сигнал. Речевой сигнал образуется благодаря функционированию артикуляторного аппарата человека [8, 10, 5]. Этот сигнал состоит из фонем, под которыми в данной статье понимается участок акустического речевого сигнала, возникающий при произношении звуков речи русского языка.

Идентификация по голосовому сообщению, рассматриваемому как оговариваемая заранее часть речевого сигнала, имеет ряд особенностей и преимуществ по сравнению с методами, основанными на других биометрических параметрах человека:

- возможность идентификации по смысловому содержанию голосового сообщения (ССГС);
- возможность идентификации по индивидуальным характеристикам голоса (ИХГ);
- возможность совместного использования смыслового содержания сообщения и индивидуальных характеристик голоса для целей идентификации;
- возможность удаленного снятия голосового сигнала (микрофон можно разместить практически на любом расстоянии от самого устройства идентификации);
- простота снятия голосового сигнала (не требуется дорогостоящих и сложных устройств, необходим лишь стандартный микрофон);
- возможность защиты от механического воздействия на устройство снятия голосового сигнала;
- стабильность голосовых характеристик на протяжении жизни;
- возможность гибкого изменения смыслового содержания сообщения.

Голоса имеют свои индивидуальные особенности, определяемые строением артикуляторного аппарата, поэтому голосовое сообщение можно использовать как идентификационный параметр человека — действитель-

но, наш слуховой аппарат в большинстве случаев легко различает голоса разных людей. Для той же цели может быть использована и информационная составляющая речевого сообщения (пример — использование пароля при смене караула).

Однако на уровне сигналов такое различие не является тривиальным при условии автоматизации процесса распознавания их техническим устройством.

Основа идентификации голосового сообщения

Для обработки акустического голосового сообщения необходимо провести его оцифровку [7, 9]. Оцифрованное голосовое сообщение представляет собой сумму двух сигналов: гармонического сигнала [2, 3], являющегося суммой отдельных гармоник, и негармонического сигнала. Гармоническая часть сигнала определяется индивидуальными характеристиками голоса, а негармоническая — набором фонем голосового сообщения. Таким образом, в голосовом сигнале можно выделить две составляющие — индивидуальные характеристики голоса и информационную (смысловую) часть голосового сообщения, состоящую из набора фонем [1]. Первая составляющая (индивидуальные характеристики голоса) представляет собой несущую, на которую накладывается вторая составляющая (смысловая часть голосового сообщения), таким образом формируется речь.

При идентификации голосового сообщения по индивидуальным характеристикам голоса смысл сказанной фразы неважен, следовательно, идентификация может проходить по произвольной речи. Из оцифрованного голосового сообщения выделяются индивидуальные характеристики голоса, которые впоследствии сравниваются с эталонными. При идентификации голосового сообщения по смысловой составляющей из оцифрованного голосового сигнала выделяется содержание сказанной фразы, которое сравнивается с эталонным, — таким образом, смысл фразы выступает в роли обычного пароля.

При совместном использовании обеих составляющих голосового сообщения важен как голос человека, так и смысл сказанной им фразы. В роли ключа в данном случае выступает акустическое голосовое сообщение с определенным смыслом. Надежность идентификации при таком подходе значительно выше, чем в первых двух случаях.

Необходимо сделать следующее замечание относительно использования смысловой составляющей голосового сообщения для целей идентификации. Семантическая структура пароля не является актуальной, а интересным в данном случае является лишь факт совпадения смысловых составляющих двух голосовых сообщений, эталонного и текущего. Это значительно упрощает систему, следовательно, делает ее более быстрой и надежной.

В методе, описанном в данной статье, предлагается для целей идентификации голосового сообщения использовать индивидуальные характеристики голоса, смысловое содержание голосового сообщения, а также обе эти составляющие вместе.

Структурная схема метода идентификации голосового сообщения

Сформулируем основные требования к методу идентификации голосового сообщения, согласно которым сформируем в дальнейшем его общую структурную схе-

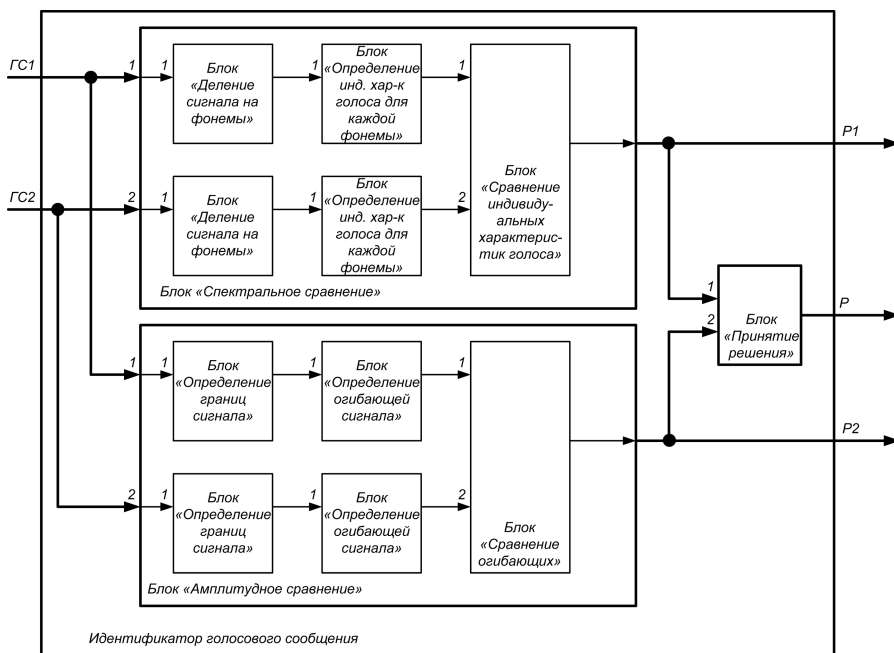


Рис. 1. Общая структурная схема идентификации голосового сообщения

му. Метод идентификации голосового сообщения должен обеспечить: низкую вероятность ошибки первого рода (неузнавание "своего"); низкую вероятность ошибки второго рода (узнавание "чужого"); высокое быстродействие; максимальную простоту реализации системы идентификации голосового сообщения.

Для идентификации голосового сообщения необходимо иметь эталонное голосовое сообщение (эталон), а при идентификации сравнивать произносимое голосовое сообщение (ключ) с эталоном по индивидуальным характеристикам голоса, по смысловой составляющей голосового сообщения либо по обоим составляющим вместе.

Предлагается следующая структурная схема идентификации голосового сообщения (рис. 1). На вход подаются два оцифрованных голосовых сообщения. Первое оцифрованное голосовое сообщение ($ГС1$) представляет собой заранее записанный эталон, с которым необходимо сравнивать произнесенное голосовое сообщение, а второе ($ГС2$) — произнесенное голосовое сообщение (ключ). На выходе схемы будут сигналы P , $P1$ и $P2$. Сигнал $P1$ представляет собой результат сравнения $ГС1$ и $ГС2$ по индивидуальным характеристикам голоса, сигнал $P2$ — по смысловой составляющей сигналов, сигнал P — по индивидуальным характеристикам голоса и смысловым составляющим сигналов вместе. Результат ($P1$, $P2$ или P) может быть либо положительным, либо отрицательным, с учетом вводимых параметров погрешности при сравнении сигналов.

После подачи на вход $ГС1$ и $ГС2$ дублируются и подаются на входы блока "Спектральное сравнение" и блока "Амплитудное сравнение". В блоке "Спектральное сравнение" $ГС1$ и $ГС2$ сравниваются по индивидуальным характеристикам голоса, а в блоке "Амплитудное сравнение" — по смысловым составляющим голосовых сообщений. Результат сравнения в обоих блоках может быть либо положительным, либо отрицательным. Если метод идентификации голосового сообщения используется для сравнения голосовых сообщений по индивидуальным харак-

теристикам голоса, то сигнал из блока "Спектральное сравнение" поступает на выход схемы, а если для сравнения голосовых сообщений по смысловым составляющим, то сигнал из блока "Амплитудное сравнение" поступает на выход схемы. Если метод идентификации голосового сообщения используется для сравнения по обоим составляющим, то выходные сигналы из блоков "Спектральное сравнение" и "Амплитудное сравнение" поступают в блок "Принятие решения", в котором определяется результат сравнения $ГС1$ и $ГС2$. Результат будет положительным только в том случае, если эталон и ключ достаточно близки как по методу спектрального сравнения, так и по методу амплитудного сравнения.

Блок "Спектральное сравнение" имеет два входа и один выход. На входы 1 и 2 подаются соответственно $ГС1$ и $ГС2$. Далее каждый из сигналов обрабатывается блоками "Деление сигнала на фонемы", и для каждой фонемы каждого сигнала определяются в соответствующих блоках индивидуальные характеристики голоса. После этого индивидуальные характеристики голоса для $ГС1$ и $ГС2$ подаются соответственно на входы 1 и 2 блока "Сравнение индивидуальных характеристик голоса". На выходе блока будет результат сравнения, положительный либо отрицательный, по спектральному методу.

Блок "Амплитудное сравнение" имеет два входа и один выход. На входы 1 и 2 подаются соответственно $ГС1$ и $ГС2$. Далее для каждого из сигналов определяются границы сигналов и вычисляются огибающие. На входы 1 и 2 блока "Сравнение огибающих" подаются соответственно огибающие $ГС1$ и $ГС2$. На выходе блока будет результат сравнения $ГС1$ и $ГС2$ по амплитудному методу.

Как видно из представленной выше схемы, обработку сигналов можно распараллелить.

При реализации метода идентификации голосового сообщения используется следующий математический аппарат:

- дискретное преобразование Фурье;
- математический аппарат корреляции;
- построение интерполяционного многочлена в форме Лагранжа;
- интерполяция сплайнами;
- матричное исчисление;
- методы решения линейных уравнений;
- методы цифровой обработки сигналов.

При совместном использовании перечисленных математических методов было введено множество параметров, изменяя которые можно получать необходимое качество сравнения сигналов.

Структура комплекса идентификации голосового сообщения

Для реализации представленного выше метода наряду с основным блоком идентификации голосового сообщения необходим целый комплекс программно-аппа-

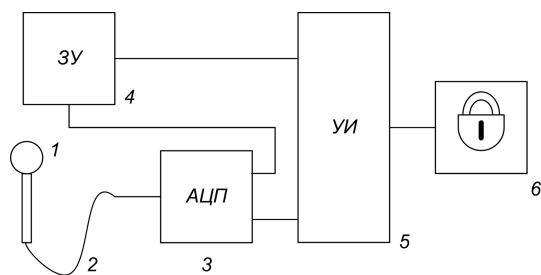


Рис. 2. Общая схема реализации комплекса идентификации голосового сообщения

ратных средств. На рис. 2 представлена общая схема комплекса идентификации голосового сообщения.

На первом этапе происходит запись эталона. Человек произносит голосовое сообщение в микрофон 1, далее по проводу 2 аналоговый сигнал с микрофона поступает в аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 3, где преобразуется в цифровой, после чего оцифрованный сигнал записывается в память запоминающего устройства (ЗУ) 4. На втором этапе происходит запись ключа и сравнение его с эталоном. Человек произносит фразу в микрофон 1, пытаясь получить доступ, далее аналоговый сигнал от микрофона по проводу 2 поступает в АЦП 3, где преобразовывается в цифровой. Цифровой сигнал поступает на второй вход устройства идентификации (УИ) 5, на первый вход данного устройства поступает сигнал из ЗУ 4, который был записан на первом этапе. УИ работает на основе метода идентификации голосового сообщения. В данном устройстве происходит сравнение сигналов эталона и ключа. В случае равенства сигналов УИ подает сигнал на устройство 6 для открытия доступа к ресурсу, в противном случае сигнал на устройство 6 не подается и ресурс остается закрытым [4].

На практике метод идентификации голосового сообщения может быть реализован двумя способами — программно и аппаратно.

Преимуществами программной реализации являются:

- простота реализации с помощью современных средств программирования;
- отсутствие необходимости в разработке и внедрении устройств АЦП и ПЗУ, так как они присутствуют в компьютере;
- возможность использования реализованного алгоритма для разграничения доступа к информации, хранимой на компьютере.

В то же время программной реализации присущи следующие недостатки:

- необходимость наличия компьютера;
- высокая стоимость реализации в случае использования компьютера только для идентификации голосового сообщения.

Преимущества аппаратной реализации:

- высокая автономность, так как устройство не привязано к компьютеру;
- компактность устройства;
- низкая стоимость по сравнению с компьютером.

Недостатки аппаратной реализации:

- сложность по сравнению с программной реализацией;
- более сложное перепрограммирование устройства в случае изменения алгоритма.

Возможные сферы применения

Основное применение средств идентификации голосового сообщения связано с системами разграничения доступа [8], в том числе:

- к компьютерам (идентификация — ИХГ & ССГС);
- к жилым, промышленным и прочим помещениям (идентификация — ИХГ & ССГС);
- к средствам выдачи и получения денег (банкоматам) (идентификация — ИХГ & ССГС);
- к техническим устройствам, в том числе к автомобилям (идентификация — ИХГ & ССГС);
- к конфиденциальной информации по телефону (идентификация — ИХГ & ССГС);
- к системам коллективного доступа по одному паролю, известному членам коллектива (идентификация — ССГС);
- в системах идентификации по голосам (идентификация — ИХГ).

Благодаря идентификации, которая может происходить по индивидуальным характеристикам голоса, смысловой составляющей голосового сообщения и совместно по обоим этим составляющим, расширяется сфера применения и повышается качество распознавания.

Заключение

В настоящее время завершена первая версия программной реализации представленного выше метода идентификации голосового сообщения. Разработка программного комплекса велась на языке C++. Экспериментально подобраны значения необходимых параметров, обеспечивающих заданное качество сравнения сигналов. Дальнейшее направление исследований связано с разработкой и реализацией улучшенных алгоритмов обработки сигналов и определением соотношений значений параметров, повышающих качество сравнения. Предварительно проведенные эксперименты показали увеличение достоверности распознавания при совместном использовании составляющих голосового сообщения и при адаптации системы к условиям конкретного применения путем подбора параметров. Результаты этих исследований предполагается осветить в последующих публикациях.

Список литературы

1. Аграновский А. В., Леднев Д. А. Теоретические аспекты алгоритмов обработки и классификации речевых сигналов. М.: Радио и связь, 2004. 161 с.
2. Анализ и синтез речи / Под ред. Б. М. Лобанова. Минск: Изд. Института технической кибернетики АН БССР, 1991. 91 с.
3. Валиулин А. Ф., Тюрин В. Н. Лингвистический метод определения характеристик нестационарных случайных процессов. М.: ПАЙМС, 2000. 88 с.
4. Малков М. А. Выделение звуков из непрерывного речевого сигнала // Материалы Всероссийской научно-технической конференции "Новые материалы и технологии — 2006". Москва. Т. 2. М.: ИЦ МАТИ, 2006. С. 129—130.
5. Методы автоматического распознавания речи: В 2-х кн. Пер. с англ. / Под ред. У. Ли. М.: Мир, 1983. 328 с., 392 с.
6. Потапова Р. К. Речь: коммуникация, информация, кибернетика. Учеб. пос. Изд. 3-е, стереотип. М.: Эдиториал УРСС, 2003. 568 с.
7. Рабинер Л. Р., Шафер Р. В. Цифровая обработка речевых сигналов: Пер. с англ. / Под ред. М. В. Назарова и Ю. Н. Прохорова. М.: Радио и связь, 1981. 496 с.
8. Рамишвили Г. С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу. М.: Радио и связь, 1981. 224 с.
9. Соломина А. И., Улахович Д. А., Арбузов С. М., Соловьева Е. Б. Основы цифровой обработки сигналов. СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2003. 576 с.
10. Сорокин В. Н. Теория речеобразования. М.: Наука, 1985. 312 с.

УДК 004

Н. В. Бочаров,

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.
ИПРИМ РАН, (nvb@oreolgroup.ru)

Информация в живых системах

Дан всесторонний анализ понятия Информация, новое определение которого было предложено В. В. Саночкиным в работах [1—3]. На примерах показана субъективистская сущность Информации как антипода Структуры с ее объективистским значением. Целью настоящей работы является выделение проблемы объективности Информации как отдельного направления необходимых научных исследований в области моделирования процесса интеллектуального анализа Информации, сформулированной на естественном языке.

Ключевые слова: информация, смысл, структура, информационное моделирование.

Введение

В прикладных разработках по аналитической обработке неформатированных текстов на естественном языке [4—6] огромный интерес вызывает программная интерпретация формулировки понятия Информация, всевозможные аналоги которой осуществляют смысловой поиск и классификацию вербальных данных. Высокая трудоемкость разработки лингвистически ориентированных программно-вычислительных систем до сих пор не позволяет достичь легкости освоения и гибкости к модернизации аналитических инструментов. Суть разрешения проблемы мы видим в продолжение поиска на общефилософском уровне законов перемещения и синтеза Информации. Для этого мы хотели бы обратить внимание архитекторов программного обеспечения, аналитиков и программистов на работы В. В. Саночкина [1—3], посвященные глубокому анализу понятия Информация. При этом мы хотим отметить, что без учета приведенных в настоящей статье комментариев, изложенный в работах В. В. Саночкина, материал может показаться IT-специалистам чрезмерно поверхностным.

Мы понимаем, что специалисты в области информационных технологий достаточно уверенно оперируют понятием Информация на уровне сигнальных систем. Однако создаваемые с их помощью информационные системы (ИС) непрерывно вовлекают своих пользователей в процесс синтеза истинной Информации, на основании которой принимается окончательное производственное решение. Мы считаем, что разработчикам прикладного программного обеспечения было бы полезно узнать, почему продукты их труда настолько неадекватны общечеловеческим механизмам генерации и распознавания Информации. Сегодня, по своей сути, разработчики и потребители программного обеспечения опе-

рируют различными понятиями Информации, поскольку до настоящего момента не было проведено качественного анализа, объединяющего различные точки зрения: "сигнал" — для разработчиков ИС; "новые данные в заданном контексте" — для пользователей ИС.

Необходимость в анализе сути явления Информации уже давно назрела по причине глобальной компьютеризации производственной и культурной деятельности человека. Всеобщая компьютеризация на рабочих местах уплотнила по времени информационное поле и дополнила его новым содержанием, которое поглотило все внимание человечества. В последние десятилетия Информация стала предметом рыночной торговли. Вследствие информатизации общества в офисах коммерческих компаний рядовыми сотрудниками ежедневно решаются проблемы актуальности, достоверности, защищенности и объективности проходящей через них Информации, при этом им все меньше времени остается на принятие решений. Люди на работе все чаще попадают в стрессовые ситуации. Почему же информатизация навязывает людям ответственность за чужие, посторонние действия, тем самым поработавшая их и превращая будни человека в вереницу недоосмысленных и рискованных действий? Само по себе вытеснение человека компьютером из неинтеллектуальных производственных процессов не только не освободило его, но и еще больше превратило в робота.

Отталкиваясь от работ В. В. Саночкина, в которых даются ответы на вопросы "Как возникает информация?", "Как хранится и передается информация?", "Эквивалентность информации и структуры", мы попытаемся разобраться в сути ключевого объекта сегодняшней торговли — Информации. В настоящей статье на примерах описан процесс появления, рождения Информации, который является результатом двух независимых операций — сравнения и выбора данных в некоторой замкнутой системе. Также мы покажем, что акт рождения Информации может быть присущ только живой, изменяющейся системе.

Достоинства содержания работ В. В. Саночкина

1. [1, стр. 111] Автор на практических примерах демонстрирует прямую зависимость Информации от структуры: "штрихи на бумаге", "электрические заряды в микросхеме", "формы отпечатка твердого предмета на мягкой поверхности" и т. д. Обобщая собственные доводы тесной связи Информации со структурой объектов, автор резюмирует, что "информация передается и сохраняется структурой материи и без материи существовать не может". Здесь я бы поправил автора и заменил его выражение "сохраняется структурой материи" на "хранится в структуре материи". Автор утверждает, что "содержание информации эквивалентно состоянию соответствующей структуры". В этом случае ранее указанное состояние **сопричастности** "информации" "структуре" не отражает суть идеи об их эквивалентности.

НАБЛЮДЕНИЕ. Информация от структуры неотделима.

Н.1

2. [2, стр. 125] В качестве определения Информации В. В. Саночкин предлагает собственную формулировку: "Информация — это существующие на материальном но-

сители соотношения свойств объектов, определенные в момент сравнения или взаимодействия этих объектов". Идеально подмеченное свойство "сравнения" как нельзя более точно отражает признак отличия Информации от остальных данных в общем потоке сведений. Добавленное свойство "взаимодействия" привносит много неясностей в определение. Ниже будет объяснена суть сопутствующих противоречий. Противопоставление "или" должно быть исключено из определения Информации. В данный момент очень важно подчеркнуть универсальность определения Информации, предложенную автором статьи, но с учетом высказанного замечания.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ. *Информация — это существующие на материальном носителе соотношения свойств объектов, определенные в момент сравнения этих объектов, и характеризующие выбор, как акт взаимодействия объектов.*

O.1

3. [2, стр. 127] Автором работы совершенно верно отмечено, что "нет такой информации, которую нельзя было бы получить сравнением". Здесь следует подчеркнуть, что практическое значение имеет результат операции сравнения, отличный от тождественности. Поясним суть влияния отличия на процесс сравнения. С алгоритмической точки зрения тождественность в операции сравнения означает сохранение прежнего режима ожидания-поиска Информации. Отсутствие тождественности в операции сравнения должно прерывать прежний режим ожидания-поиска Информации и включать новую программу по исследованию контекста у обнаруженного отличия, осуществляющую операцию выбора для зарождающейся Информации. Изучение контекста позволяет выявить некую знакомую систему связей, которая становится заданным контекстом для ранее выявленного отличия. Только в таком случае можно говорить о распознанной Информации в структуре. Об этом же, но своими словами, автор подробно говорит в главе об "эквивалентности информации и системы". Здесь имеет смысл еще раз обратить особое внимание на глубинный смысл взаимосвязи между структурой и Информацией и вспомнить слова из Введения к данной статье о различном понимании термина Информация разработчиками и пользователями программного обеспечения. Разработчики пока не знают, что Информация в их понимании представляет собой структуру, с которой работают пользователи.

ВЫВОД. *Процесс распознавания Информации в структуре скрывает в себе механизм формирования психологических состояний человека. Именно здесь кроется предмет будущих научных исследований в области компьютерного моделирования человеческого Интеллекта.*

B.1

Смоделируем примеры по выявлению информационных состояний в линейных последовательностях (см. таблицу).

Информационное содержание результата анализа линейных последовательностей для различных состояний живой системы

Состояние живой системы	№ примера		1	2
	Характер сравнительного анализа	Название примера	Атомарная цепочка	Волновая цепочка
		Пример	...АВАВАВА...	... + + + ...
		Тип результата анализа		
Взгляд изнутри	Узнаваемый	Структура ≡ Совокупность связей	А связано с двумя В, В связано с двумя А	Круговое чередование дальних, средних и ближних связей
Взгляд снаружи	Распознаваемый	Информация ≡ Соотношение свойств	А между В, В между А	Равномерное чередование разреженных и плотных областей

Рассмотрим систему из наблюдателя и некоторой символической последовательности. Чтобы можно было осуществить сравнительный анализ средствами самой системы, необходимо допустить подвижность хотя бы одной ее части относительно другой. Состояние системы с подвижными элементами называется изменяемым. В этом случае можно говорить о том, что система — живая.

Пусть в нашей системе подвижным элементом будет наблюдатель. Положение подвижной части системы относительно ее неподвижной части определяет текущее состояние живой системы и характеризуется действием, подтверждающим наличие контакта между частями системы. Тогда говорят, что элементы системы находятся во взаимодействии. Мы выделяем два состояния живой системы, два вида взаимодействия, привязанных к ее подвижному элементу: "взгляд изнутри" и "взгляд снаружи". Цель наших примеров — продемонстрировать разницу результатов сравнительного анализа, выполненного одной частью системы относительно другой ее части при разных состояниях живой системы. Информационное состояние линейной последовательности при "взгляде изнутри" являет собой структурное содержание неподвижной части системы, при "взгляде снаружи" — информационное содержание.

Следствия из примеров в таблице.

1. Для состояния живой системы "взгляд изнутри" информационное содержание примера 1 — угловые характеристики неподвижной части системы, а информационное содержание примера 2 — линейные характеристики неподвижной части системы.

2. В первом примере ярко выражена зависимость структурного и информационного содержания от выбора положения подвижной части системы относительно ее неподвижной части.

3. Структурное содержание при "взгляде изнутри" качественно отличается от информационного содержания при "взгляде снаружи".

4. На примерах показана взаимозаменяемость Структуры и Информации через наблюдателя.

ВЫВОД. *Наблюдатель является генератором новой Информации при смене характера проводимого им сравнительного анализа с "узнавания" на "распознавание".*

B.2

4. [2, стр. 128, 129] Из работы В. В. Саночкина можно выделить три важных постулата, которые следует учитывать при моделировании процесса манипулирования Информацией.

Постулат 1. *"Информация является столь же фундаментальным понятием, как и структура. Она присутствует во всех материальных объектах и преобразуется вместе с ними при любом взаимодействии, в частности и в неживой природе".*

Постулат 2. *"Взаимодействие, передающее информацию, не только воспроизводит уже существующие связи,*

но устанавливает и новые связи между источником и приемником информации, то есть, в соответствии с обсуждаемым определением, генерирует информацию".

Постулат 3. "Информация передается по причинно-следственным связям".

Первые два постулата раскрывают суть проблемы определения объективности Информации, влияющей на принятие решения о том или ином выборе. За примером обратимся к социальной сфере. Рассмотрим процесс оценки избранника на пост депутата или главы государственного исполнительного органа. Согласно нормам демократии об объекте будущих выборов могут высказываться любые субъекты правового поля. Информация, проходящая через средства массовой информации (СМИ), может быть как анонимной, так и подписанной. Информация всегда имеет в качестве цели конкретного адресата. Адресат характеризуется своей компетентностью в потребляемой Информации. Наиболее компетентный адресат, как правило, привередлив к источнику Информации и к субъекту, от имени которого исходит рассматриваемая Информация. В жизни система демократических выборов построена таким образом, что решения принимаются по большей части некомпетентными лицами, что приводит к успешному использованию технологий манипулирования общественным мнением. Однако, даже если компетентность общественного мнения со временем может возрасти, всплывает другая серьезная проблема. Как бороться с лживой Информацией, т. е. с Информацией, наполненной намеренно подтасованными фактами под конкретного адресата?

Следствие из преобразования Информации при взаимодействии субъектов:

Информация, которую потребляет адресат, не всегда носит достоверный характер на том основании, что по каким-либо причинам вещатель излагает то, что ожидают от него услышать.

ВЫВОД. Проблема отличия намеренной Информации от обоснованной и способы выявления причин, приводящих к подмене данных на ожидаемые, являются предметом будущих научных исследований. **В.3**

При разрешении указанной проблемы должен быть принят во внимание третий постулат, который приводится в работе В. В. Саночкина. Только глубокий анализ причинно-следственных связей при передаче Информации может обеспечить правильную оценку и необходимость ее учета на осуществляемый выбор. Для проведения подобного анализа может быть использована предложенная в работе того же автора [3, стр. 130] модель образования причинно-следственной связи при взаимодействии объектов, которая представляется им в виде цикла из двух функций: 1) "сравнение текущих состояний объектов"; 2) "выбор на этом основании нового состояния из множества потенциально возможных". Забегая вперед, отметим, что сравнение осуществляется по наперед заданным категориям сведений о состоянии системы. Выбор проводится по наперед заданному алгоритму.

В нашем примере из социальной сферы причинно-следственная связь управляет контекстом, в котором посредник из СМИ синтезирует Информацию, ожидаемую конкретным адресатом. Последний нуждается в инструменте стратегического анализа информационного поля. Суть будущих научных исследований лежит в области развития методик семантического анализа неформатированного естественно-языкового информационного поля.

Ситуация с предвыборной агитацией является не единственной, где необходим стратегический анализ источника Информации перед осуществлением интеллек-

туальным субъектом операции выбора. Проблема достоверности Информации стоит особенно остро, когда речь идет о вложении свободных денежных средств в коммерческое предприятие. Здесь мы имеем в виду не инструменты для выполнения спекулятивных операций на рынке, а инструменты для осуществления долгосрочных, стратегически выверенных шагов, например, с целью формирования рынка предложений от инвестируемой компании. Как правило, в таких ситуациях стоит вопрос о стоимости компании, в которую вкладываются деньги. Если у компании есть конкуренты, то целесообразность вложения средств может многократно снижаться. У любого инвестора по сути должна быть строго доказанная научная методика анализа причинно-следственных связей Информации о компании. На основании такой методики должна четко рассчитываться действительная стоимость компании, а вследствие ее применения — верифицироваться объективность предложенной цены за акцию или компанию целиком. Знак разницы заявленной стоимости от стоимости, рассчитанной инвестором, и должен указывать на целесообразность или нецелесообразность самого факта вложения средств в коммерческую компанию.

НАБЛЮДЕНИЕ. При смене носителя Информации последняя приобретает новые данные. **Н.2**

ВЫВОД. Отмеченные положительные стороны работ В. В. Саночкина постулируют революционную идею в области переложения на алгоритмическую платформу процесса осмысления при идентификации Информации. **Ключевые тезисы:**

1. Информация всегда содержит в себе сведения о какой-либо структуре.
2. Информация определяет соотношение свойств объектов.
3. Информация есть результат операции сравнения.
4. Информация передается по причинно-следственным связям. **В.4**

Следует заметить, что в работах В. В. Саночкина не в достаточной мере раскрываются новаторские черты авторского определения Информации. Критическое рассмотрение недочетов в содержании проанализированных работ осуществлено в следующей части настоящей статьи.

Недочеты содержания работ В. В. Саночкина

1. [1, стр. 112] Рассматривается пример естественного установления причинно-следственных связей между плотностью воды и плотностью дерева и указывается на **объективность** "сравнения свойств и выбора состояния" при взаимодействии дерева с водой. В примере упущено влияние гравитации и воздушной атмосферы на выбранные объекты, что говорит о нераспознанном автором состоянии **субъективности** образования Информации. С точки зрения переноса опыта в глубокий Космос приведенный пример взаимодействия двух объектов, очевидно, будет отличен от земных условий. Спрашивается, какой из опытов содержит объективную Информацию?

2. [1, стр. 113] Тот же пример. В тексте указывается — "то, что информация там объективно есть, подтверждается тем, что любой другой достаточно оснащенный субъект может скопировать ее независимо от первого и иметь собственную копию этой информации". Далее не разъясняется, что значит "скопировать" и "иметь собственную копию". Суть замечания заключается в том, что у различных алгоритмистов остается очень большое поле для фантазий в области интерпретации процесса копирова-

ния Информации и процесса владения собственной копией, что может привести огромную погрешность в хранимую Информацию (см. 2-й постулат пункта 4 достоинств содержания работ).

3. [1, стр. 113] Одна из формулировок процесса извлечения Информации, а именно — "извлечь одинаковую информацию разным субъектам можно только одновременно", — уводит читателей от сути смыслового содержания определения Информации (О.1), кроме того, сам процесс извлечения Информации не предполагает одновременного ее улавливания разными субъектами в качестве обязательного условия.

С точки зрения стратегии извлечения Информации, например, из интернет-ресурсов, "одновременность" ее приобретения не имеет большого практического значения. Более того, для анализа объективности Информации важнее общие черты различных информационных сообщений, нежели их "одинаковость" в смысле тождественности.

4. [2, стр. 125] Дается определение процесса "непосредственного сравнения", предшествующего "выбору": "Непосредственное (объективное) сравнение происходит при взаимодействии самих объектов". Попытаемся с точки зрения теоретической механики развеять предубеждение о том, что возможно объективное сравнение взаимодействующих объектов. Прежде всего следует понять, что "сравнение" есть действие. Для конечного объема это действие распространяется вглубь объема до его предела дискретизации. То есть это операция — масштабная в объеме. С точки зрения энергетического равновесия на первой же итерации сравнения должно сформироваться движение, уравновешенное поверхностными и объемными внешними силами. В случае отсутствия внешних сил оба взаимодействующих объекта должны начать свое разрушение. Фактически сама по себе операция сравнения должна привести к взрыву до полного исчезновения одного из взаимодействующих объектов. Но в реальном мире, тем более в том, в котором мы живем и которое мы анализируем, взрывы происходят крайне редко. Это вызвано тем, что все взаимодействующие объекты многокомпонентны по своей физической природе. По сути получается, что взаимодействию подвергаются не просто объекты, а некоторые равновесные процессы, обеспеченные внутренним силовым полем. Такое поле при двух взаимодействующих объектах должно состоять, как минимум, из двух дополнительных объектов, на которых происходит выполнение операции сравнения.

С алгоритмической точки зрения реализации процесса сравнения мы приходим к такому же результату с дополнительными зависимыми объектами, если попытаемся дойти до предела дискретизации взаимодействующих объектов. На элементарном алгоритмическом уровне сравнение выльется в последовательность операций вычитания, в результате выполнения которых останется бит данных — Да/Нет, определяющий свойство сравниваемых битов данных. Исходя из нашего определения Информации (см. выше, пункт 2 предыдущего раздела о достоинствах содержания работ В. В. Саночкина), один бит не представляет собой Информацию, если он не может быть поставлен в соотношение другому биту данных, который ранее сопоставлен известному свойству сравниваемых объектов. Здесь мы не рассматриваем проблему, откуда берутся дополнительные объекты. Важен сам факт, что без них Информация появиться не может.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ. Система, в которой происходит интерпретация, информационное преломление действительности, называется живой системой. O.2

Выше мы показали опосредованность операции сравнения. Это значит, что перед возникновением Информации любое сравнение происходит субъективно. Объективность с общечеловеческих позиций является условием выбора достаточно обширного контекста, который должен быть неотъемлемой составляющей "системы взаимодействующих объектов" [2, стр. 126] для наблюдаемого события вне локального условия тиражируемого события по взаимодействию объектов. Это значит, что постулирование объективности Информации через абсолютное время и место, на что опирается В. В. Саночкин, на самом деле не обосновано.

Рассмотрим пример из биологии человека в качестве доказательства опосредованности (субъективности) возникновения Информации. Если у человека что-то заболело внутри, это еще не значит, что он получил Информацию. Боль — это всего лишь сигнал о том, что что-то не так в организме. И пока этот сигнал не будет соотнесен с каким-либо знанием, нельзя будет говорить о том, что человек стал носителем Информации — объективной или субъективной. В зависимости от того, имеет человек знания о болях через народное целительство, через медицинскую литературу или из врачебной практики, информационное содержание о боли может быть разным. Из-за этой разницы и говорят, что один человек всегда обладает субъективным мнением. Согласно определению Информации только лишь соотнесение болевого сигнала со знанием позволяет констатировать факт обретения Информации. Этот факт многими упускается из рассмотрения, поскольку трудно представить себе человека, неспособного мыслить, т. е. неспособного обращаться к накопленным знаниям. Знания в последнем случае являются средой, на фоне которой формируется Информация.

5. [2, стр. 126] "Копируя ... информацию, ... субъект становится носителем субъективной информации". В данном изречении автором упущено важное следствие того факта, что Информация после ее осмысления субъектом теряет для последнего свой статус, становясь знанием или субъективным мнением. Под осмыслением мы будем понимать систему мыслительных операций, направленных на выявление разумной сочетаемости принятых сведений. Только в случае неосмысленного выполнения операции копирования Информация переходит в статус субъективной Информации. Субъективность за Информацией может сохраняться вплоть до того момента, пока все составляющие сведения не растворятся в разрозненных осмысленных процессах. В таком случае можно говорить о подсознательном приобретении субъектом нового знания.

6. [2, стр. 126] В. В. Саночкин пишет, что "соотношение свойств — это то, что определяется в результате сравнения или взаимодействия, то, что передается, копируется, кодируется в процессе передачи или преобразования информации". Здесь нет явного ответа, соотношение — это число, когда соотношение линейное, или числовой ряд, когда соотношение нелинейное?

7. [2, стр. 126] Автор работы пишет: "Привязка к моменту времени важна, чтобы понимать, когда возникло данное содержание информации, что оно отражает". Речь здесь не по существу. Как правило, практическую значимость имеют только соотношения из установившихся процессов и дифференциалы соотношений в неустановившихся процессах. В определении Информации важен сам факт, что Информация снимается в момент времени с конкретной протяженностью между событиями, а не значение времени, когда это произошло. Быстро изменяющиеся процессы для практической жизни не важ-

ны. Большую значимость имеют постоянные сведения, на которых формируется контекст под выполнение операции выбора. Чем статичнее контекст, тем ценнее Информация.

Критика авторского определения Информации, представленной в следующей форме: "Информация — это существующие на материальном носителе соотношения свойств объектов, определенные в момент сравнения или взаимодействия этих объектов". Да, Информация является следствием взаимодействия объектов, но сам процесс взаимодействия может продолжаться неограниченно продолжительное время. Система взаимодействующих объектов также может незначительно изменяться в своем составе на значительном временном интервале. Фактически из предложенного определения невозможно вывести уравнение динамики о состоянии многокомпонентной среды.

8. [2, стр. 126] Автор допускает грубую терминологическую ошибку, называя *"сравнение двух объектов по одному свойству — элементарным сравнением"*. Свойство объекта живой или неживой природы всегда есть комплексное понятие. Взять, например, цвет. Цвет на солнце, в тени, ночью при неоновом освещении или при свече всегда будет разным. Здесь автор, видимо, ведет речь об элементарном примитивном объекте, когда свойства проявляются в технологически- и эксплуатационно-ограниченном устройстве, а не об общеполитическом понятии объекта.

Далее автор пишет: *"Получаемый при этом один бит информации определяет альтернативу типа: равна или нет, ..."*. 1 бит Информации — не есть Информация (см. определение Информации О.1), которая должна содержать последовательность, как минимум, трех бит или чисел (где число может быть представлено набором бит или набором цифр). Одно число из последовательности обязательно фиксирует соотношение, а остальные числа — взаимодействующие объекты в соответствии с их количеством. Именно числовой ряд обеспечивает возможность смысловой обработки Информации по новому определению, иначе мы возвращаемся в технологии обработки сигналов из "теории автоматов".

9. [2, стр. 127—128] Автор: *"Когда часть структуры одной системы при взаимодействии копируется в другую, то вторая система становится носителем информации о первой, воспроизводя некоторые соотношения ее свойств"*. Здесь требуется комментарий, поясняющий, что в физическом мире под копированием понимается не буквальное воссоздание одного из взаимодействующих объектов, а воссоздание свойств копируемой структуры из элементов структуры будущего носителя Информации. В буквальном смысле воссоздание свойств копируемой структуры подразумевает перестройку внутри другой структуры, т. е. когда переставляются ее собственные элементы.

10. [2, стр. 128] В разделе *"Иллюстрация применения определения информации"* автором отмечается, что *"для существования информации нужны, как минимум, два объекта"*. Очевидно, автор путает процесс существования Информации с процессом ее образования. Действительно, при образовании Информации необходимо не менее двух объектов и среда, в которой происходит информационное взаимодействие. Но существование Информации допускает свое хранение в структуре одного объекта в отсутствие другого объекта и среды, в которой данная Информация может быть распознана.

Критика авторского определения Информации, представленной в следующей форме: "Информация — это существующие на материальном носителе соотноше-

ния свойств объектов, определенные в момент сравнения или взаимодействия этих объектов". Определение Информации в момент взаимодействия исключает процесс ее хранения в одном объекте в отсутствие объекта, оставившего на другом структурный отпечаток. В определении, очевидно, отсутствует общность в рамках ее влияния на реализуемое будущее Информации, т. е. пропадает фундаментальность.

11. [2, стр. 129] Автор очень осторожно подошел к смысловой характеристике Информации, и предложенное им определение не помогает, как считает автор, в понимании взаимосвязи смысла с Информацией. Необходимые объяснения того, что является соотношением в человеческой речи, выраженной через символическое представление, приводятся ниже. В наших рассуждениях мы опустим детали лингвистического анализа естественно-языковых данных, но остановимся на ключевых моментах семантического анализа. В качестве примера разберем фразу:

Для придания смысла словосочетанию "связка поленьев" можно прибегнуть к словам "плот" или "изгородь". (1)

Информационная составляющая приведенной фразы состоит из трех сообщений, соединяющих три объекта, выделенных в тексте кавычками, и двух соотношений вида:

"Для придания смысла словосочетанию ... можно прибегнуть к словам ..." (2)

"... или ...",

где под многоточием понимаются пустые места под перечисленные в информационном сообщении объекты. Первое соотношение в (2) можно заменить более коротким аналогом

"... есть ..." (3)

Такая замена исходного соотношения является семантической трансформацией, значение которой зависит от носителя Информации, в нашем примере трансформация зависит от нас самих. Тогда Информация имеет вид:

{"связка поленьев" есть "плот"} или {"связка поленьев" есть "изгородь"}, (4)

что впрямь можно использовать в качестве знания. Дальше из другого источника мы получаем сведения:

Мы строим сарай. Плот приспособлен в качестве крыши сарая. (5)

В качестве частотной характеристики выделяется объект *"сарай"*. На базе имеющихся у нас знаний из сообщения можно выделить Информацию, которая будет состоять:

из двух объектов — *"плот", "сарай"*

и одного соотношения — *"... приспособлен в качестве крыши ..."*

Тогда Информация будет выглядеть как:

"плот" приспособлен в качестве крыши "сарая". (6)

Передавая Информацию далее, один из нас может трансформировать соотношение, осуществив замену прежнего информационного соотношения *"... приспособлен в качестве крыши ..."* на *"сделать крышу из ... для ..."*, где под многоточием обозначены пустые места для прежних взаимодействующих объектов. При замене формы соотношения вся сложность состоит в сохранении качества соотношения, что могло бы обеспечить обратное преобразование для восстановления исходных внешних условий образования Информации. Использование в качестве замены соотношения *"... сделать крышу ..."* по аналогии с

ранее применявшимся соотношением "... *есть* ..." означает потерю Информации. Факт потери Информации может служить поводом для обоснования критерия субъективности восприятия Информации.

В Информации соотношение всегда должно быть осмысленным, иначе пропадает ее суть, т. е. соотношение должно содержать в себе сведения не только о своей форме в виде грамматических единиц естественного языка, но и о месте объектов, допустимых в соотношении к замене. Расположенные в соотношениях пустые места под соотносимые объекты формируют смысловые ритмы. Мы полагаем, что мозг запоминает ритмы и на их основе проводит распознавание и синтез Информации. Однако процесс запоминания у человека устроен таким образом, что при восстановлении данных часто происходит путаница в смысловых ритмах, и как следствие, при передаче Информации возникает разрушение семантики языковых форм соотносимых объектов. Проблема путаницы в смысловых ритмах решается практикой употребления соотношений в различных условиях. Именно поэтому любому человеку необходимо общее образование, которое формирует в его памяти устойчивую к различным реалиям коллекцию семантических соотношений.

ВЫВОД. *Только у разносторонне развитого человека информационное восприятие мира более осмысленно, а именно, более адекватно действительности, т. е. объективно.*

В.5

Следствие из вывода.

Узкоспециализированное образование вредно для информационно насыщенных специальностей.

Проблема некомпетентности специалистов особенно остро стоит в области экспертизы наукоемких проектов, находящихся на стыке различных дисциплин, и в области продвижения инноваций в условиях высокой конкуренции за потребителя. По этой причине в указанных областях ожидается огромный спрос на компьютерные интеллектуальные системы и базы знаний.

Заключение

Представленный в данной статье анализ работ В. В. Саночкина [1—3] по проблеме определения Информации выполнен на фундаментальном философском уровне. В указанных работах мы выделяем качественно новое определение Информации, опирающееся на соотношения свойств объектов, в противовес классическому понятию Информации, в буквальности сопоставимой с сигналом. Классическое определение Информации берет свой исток из "Теории информации" К. Э. Шеннона, когда онтологическое понимание Информации строится на возможности ее передачи и получения. Другие авторы осознают некорректность сопоставления Информации с сигналом и пытаются интерпретировать ее действием через отражение или выбор, т. е. через осмысление. Но в данном направлении не было предложено ничего практически эффективного для проектировщиков интеллектуальных информационных систем. Сам процесс осмысления всегда сопоставлялся с лингвистической обработкой информационных сообщений. В силу слабой развитости лингвистических подходов к автоматическому извлечению смыслов (читайте — контекстов) из неформатированных естественно-языковых текстов научная мысль зашла в тупик, из которого до сих пор не был найден практически ощутимый выход для интенсивного освоения рынка по-настоящему интеллектуальных задач.

Тем временем информационно-телекоммуникационная отрасль бьет все рекорды по скорости модернизации выпускаемой продукции как в "твердом" (железо), так и в "мягком" (программное обеспечение) исполнении. В процессе информатизации своей деятельности общество подвергается серьезному испытанию на выносливость от избытка псевдоИнформации в формате "цветовых флажков", сигнализирующих о состоянии текущих дел. Максимальная нагрузка на человеческий мозг возникает вследствие необходимости в ежедневном решении нетривиальных задач, связанных с разрешением актуальности, достоверности, защищенности и объективности мерцающих на экранах мониторов **сигнальных атрибутов Информации**. Любое практическое решение по осмысленной обработке сигнальных данных в режиме автопилота, как правило, представляет собой черный ящик и переобучению не поддается. Для неподготовленного пользователя любое ИТ-решение до сих пор представляет собой ненадежное средство по автоматизации повседневных задач.

В настоящей статье критически проанализировано предложенное в работе В. В. Саночкина определение Информации, выраженное через соотношение свойств объектов, и обоснована рекомендованная его редакция (О.1). Уникальность нового подхода к определению Информации состоит в том, что оно теперь представляет собой формулу отношения свойств объектов к прогнозируемому выбору развития событий, по которой вычисляется ее значение в момент сравнения объектов. Сопоставление Информации с формулой теперь однозначно объясняет суть ее смыслового восприятия не только человеком, но и программной системой. В статье приведен пример, демонстрирующий структуру и содержимое соотношений при проектировании интеллектуальных систем, ориентированных на смысловую обработку Информации, представленной на естественном языке.

В данной статье доказана неразрывная связь Информации со структурой взаимодействия объектов, когда появление Информации является следствием двух операций — сравнения и выбора. В отличие от работ В. В. Саночкина в настоящей статье показана принадлежность Информации живой системе на операции сравнения и доказана субъективность восприятия Информации на операции выбора. Проблема по выявлению объективной Информации из множества ее субъективных интерпретаций еще требует детального изучения с целью выделения критериев, по которым можно было бы осуществлять выбор контекстного поля в обход временной и координатно-пространственной зависимости информационных потоков. Разрешение данной проблемы на фундаментальном уровне ожидают разработчики экспертных систем.

Список литературы

1. Саночкин В. В. Что такое информация // Эволюция. 2005. № 2. С. 110—113.
2. Саночкин В. В. Что такое информация. Часть 2 // Эволюция. 2006. № 3. С. 125—129.
3. Саночкин В. В. Ошибочность гипотезы Г. Кастлера о появлении информации при выборе // Эволюция. 2006. № 3. С. 129—131.
4. Информационно-аналитическая система "Семантический архив". Интернет-ресурс: <http://www.anbr.ru>
5. Информационно-аналитическая система "ИВК-СОНЕТ". Интернет-ресурс: <http://www.ivk.ru>
6. Логико-аналитический комплекс "SynSys SEMANTIX". Интернет-ресурс: <http://www.synsys.ru>

Указатель статей, опубликованных в журнале "Информационные технологии" в 2008 году

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, СИСТЕМЫ И СЕТИ

- Андреев Д. В.** Цифровые процессоры с одномерной структурой для сортировки многозначных данных. № 12.
- Богатырев В. А.** Оптимизация отказоустойчивых кластеров с неполнодоступностью узлов и неоднородностью потока запросов. № 2.
- Галазин А. Б., Грабежной А. В., Нейман-заде М. И.** Оптимизация размещения данных для эффективного исполнения программ для архитектур с многобанковой кэш-памятью данных. № 3.
- Жуков О. Д.** Система логарифмических вычислений на основе модулярной алгебры. № 4.
- Зинкин С. А.** Реализация барьерной синхронизации и управление процессами в виртуальном сетевом дисковом массиве. № 12.
- Ильин Ю. Н.** Анализ эффективности энергопотребления микропроцессора с упорядоченным выполнением команд в многопоточном режиме исполнения. № 3.
- Карпенко А. П., Федорук В. Г., Федорук Е. В.** Балансировка загрузки многопроцессорной системы при распараллеливании одного класса вычислительных задач. № 3.
- Климов А. В.** Умножение плотных матриц на неоднородных высокопараллельных вычислительных системах (анализ коммуникационной нагрузки). № 3.
- Коханенко И. К.** Правила распределения моделей по узлам вычислительной сети. № 2.
- Куделя В. Н.** Методы перебора на графах и задачи управления телекоммуникационной сетью. № 4.
- Оленин А. С.** Проблемы приближенного конструирования задач. № 3.
- Сулейманов Р. Р.** Делимость в системах счисления. Модуль устройства определения кратности дискретного сигнала. № 6.
- Федюнин Р. Н.** Устройство деления с настраиваемой логикой на базе однородных модулярно-конвейерных структур. № 6.

СЕТИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

- Аджалов В. И., Тарасов В. Ю.** Методы обслуживания голосовых вызовов в сети Интернет. № 5.
- Алгулиев Р. М., Алгулиев Р. М., Гусейнова А. А.** Повышение эффективности корпоративных сетей с применением CDN-технологий. № 7.
- Бородин А. В., Богоявленский Ю. А.** Математическая модель беспроводного сегмента IEEE 802.11 в режиме насыщения. № 6.
- Грушин А. И., Ремизов М. Л.** Нормализующая часть быстродействующего устройства сложения чисел с плавающей запятой. № 10.
- Домнин А. О.** Аналитическая модель клиент-серверного приложения. № 7.
- Зинкин С. А.** Элементы новой объектно-ориентированной сетевой технологии для моделирования и реализации систем и сетей хранения и обработки данных. № 10.
- Ильин П. Е.** Многозадачная территориально распределенная вычислительная среда с учетом затрат на передачу данных. № 8.
- Перегуда А. И., Тимашов Д. А.** Математическая модель надежности локальной вычислительной сети. № 10.
- Першин А. В.** Архитектура настраиваемого агента. № 6.

- Петров В. А., Тормасов А. Г.** Длительность поиска в распределенной системе с регулярной структурой в условиях точечной загруженности. № 8.
- Самойлин Е. А.** Синтез оптимальных алгоритмов оценивания импульсных помех при восстановлении сигналов в цифровых радиосистемах. № 7.
- Стемпковский А. Л., Левченко Н. Н., Окунев А. С., Цветков В. В.** Параллельная потоковая вычислительная система — дальнейшее развитие архитектуры и структурной организации вычислительной системы с автоматическим распределением ресурсов. № 10.
- Шахов В. Г., Нопин С. В.** IP-телефония в защищенном режиме: варианты реализации. № 6.
- Шахов В. Г., Нопин С. В.** Использование IP-телефонии в защищенном режиме. № 5.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- Агеев Л. Д., Калашников В. С.** Компьютерное проектирование проводящего рисунка плоских квазипериодических антенн. № 5.
- Аюпов А. Б., Марченко А. М.** Метод оптимизации трассируемости в аналитическом алгоритме размещения стандартных ячеек. № 3.
- Бибило П. Н.** Совместное использование синтезаторов Leonardo и XST при проектировании цифровых схем на FPGA. № 3.
- Бобков С. Г.** Методика проектирования микросхем для компьютеров серии "Багет". № 3.
- Зимнухова Ж. Е., Немтинов В. А.** О подходе к построению автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений для проектирования процессов производства изделий из металлов. № 9.
- Мокрозуб В. Г.** Представление структуры изделий в реляционной базе данных. № 11.
- Мосин С. Г.** Структурные решения тестопригодного проектирования заказных интегральных схем. № 11.
- Плоткин Д. А.** Новый метод сжатия изображений, построенный на основе JPEG Baseline и метода бинарных интервальных преобразований. № 5.
- Поляков Б. Н.** К созданию САПР технологии правки и обводования роликоправильных машин. № 9.
- Шерыхалина Н. М.** Применение фильтрации численных результатов для увеличения надежности САПР. № 9.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Алгулиев Р. М., Оруджов Г. Г., Сабзиев Э. Н., Панахов Н. А., Расулова Н. В., Алиева А. А.** Разработка алгоритмов обнаружения и корректировки некоторых характерных ошибок векторной карты рельефа местности. № 4.
- Есаков Д. И.** Объединение нескольких методов при автоматизированной обработке изображений земной поверхности. № 4.
- Кобзаренко Д. Н.** Ускорение поиска ближайших узлов в задаче 2D-интерполяции на регулярной сетке при большом объеме исходных и результирующих данных. № 8.
- Мандрикова О. В., Богданов В. В., Полозов Ю. А.** Моделирование сигналов со сложной структурой на основе конструкции вейвлет-преобразования. № 4.
- Мандрикова О. В., Полозов Ю. А.** Автоматизированный способ обработки сигналов со сложной структурой. № 12.
- Немтинов В. А., Манаенков А. М., Морозов В. В., Немтинов К. В.** Технология создания пространственных моделей территориально распределенных объектов с использованием геоинформационных систем. № 8.
- Соколов Э. М., Панарин В. М., Нуртдинов Р. В., Зуйкова А. А.** Внедрение новых информационных технологий в работу органов управления системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. № 12.

БЕЗОПАСНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ

- Авдошин С. М., Зайцев А. С. Технология извлечения функциональной нагрузки вредоносного кода. № 3.
- Аксарин М. В., Тарасюк М. В. Модель скрытого канала реляционной БД с многоуровневым доступом. № 1.
- Душкин А. В. Распознавание и оценка угроз несанкционированного воздействия на защищенные информационно-телекоммуникационные системы. № 3.
- Жуков О. Д. Экспоненциальные вычисления в криптографии. № 8.
- Жусов Д. Л. Алгоритм обнаружения компьютерных атак на web-сервер. № 5.
- Мистров Л. Е. Метод оценки эффективности применения комплексов информационной индивидуальной и групповой безопасности организационно-технических систем в конфликтной неопределенности. № 5.
- Шниперов А. Н. Синтез и анализ высокоскоростных симметричных криптосистем на основе управляемых операций. № 1.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

- Авдошин С. М., Шатилов М. П. Информационные технологии онтологического инжиниринга. № 10.
- Балакирев Н. Е., Гирин Б. Б. Основные концепции языка описания алгоритмов анализа естественно-языкового текста. № 9.
- Барский А. Б. Применение логической нейронной сети для распознавания объектов временного ряда по заданному набору признаков. № 8.
- Бочков М. В., Бородащенко А. Ю., Салбиев А. Л. Алгоритм оценки массива текстов на семантическое сходство с эталоном. № 12.
- Брусенцов Н. П. Алгебраическая реконструкция силлогистики. № 2.
- Гермашев И. В., Силина А. Ю., Васильева В. Д., Дербишер В. Е. Обработка нечетких данных для оценки активности научной деятельности. № 12.
- Долгов А. И., Короченцев Д. А. Сложение возможных и вероятностных нечетких треугольных чисел. № 1.
- Евгеньев Г. Б. Многоагентная методология — новая информационная технология создания прикладных систем. № 11.
- Жуков Л. А., Корчевская О. В. Метод плоскостей: численный эксперимент для задач двух- и трехмерной ортогональной упаковки. № 11.
- Клещев А. С. Роль онтологий в программировании. Часть 1. Аналитика. № 10.
- Клещев А. С. Роль онтологий в программировании. Часть 2. Интерактивное проектирование информационных объектов. № 11.
- Ковшов Е. Е., Машковцев А. В. Рационализация подбора медицинского персонала в лечебном учреждении путем применения генетических алгоритмов. № 9.
- Коробицын В. В., Ильин С. С. Реализация симметричного шифрования по алгоритму ГОСТ-28147 на графическом процессоре. № 10.
- Лапшин В. П., Жуков И. С., Апилов А. Х. Количественная оценка размытости и асимметрии функций принадлежности нечетких множеств. № 9.
- Мандриков Е. А., Кулев В. А., Шалыто А. А. Применение генетических алгоритмов для создания управляющих автоматов в задаче о "Флибах". № 1.
- Махортов С. Д., Подвальный С. Л. Алгебраический подход к исследованию и оптимизации баз знаний продукционного типа. № 8.
- Найханова Л. В. Генерация множества ядер продукционных правил в задаче автоматического построения библиотеки декларативных методов. № 10.
- Найханова Л. В., Хаптахоева Н. Б., Ясанова Е. Н. Создание декларативного метода извлечения знаний из терминологических словарей. № 12.
- Николайчук О. А., Юрин А. Ю. Управление опытом при исследовании динамики технического состояния уникальных машин и конструкций: моделирование опыта. № 6.

- Норенков И. П. Исследование эффективности генетического метода с фрагментным кроссовером. № 6.
- Семенов Н. Н. Спектральные методы обработки пространственных данных для классификации целей. № 9.
- Сенкевич Ю. И. Метод лингвистического анализа сигналов. № 6.
- Тарасова А. С. Методы определения оптимальной геометрической формы кластеров в задачах кластерного анализа. № 2.
- Чанышев О. Г. Автоматическое извлечение кандидатов в термины предметной области из представляющих ее текстов. № 2.

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ

- Виленик Л. С., Иванов Ю. В., Трофимов В. П. О математическом моделировании динамики естественных природных и физических систем дискретно-непрерывными системами с запаздывающим аргументом. № 4.
- Гагарин А. В. Интеллектуальный алгоритм оптимизации параметров ресурсоемких моделей. № 1.
- Галимьянова Н. Н. Экспериментальное исследование параллельных реализаций комбинаторных алгоритмов решения задачи о ранце. № 7.
- Гальченко В. Я., Остапущенко Д. Л. Численный анализ пространственной конфигурации магнитных полей объектов сложной геометрической формы с учетом нелинейных характеристик веществ. № 8.
- Гирча А. И. Разработка программного комплекса для численного моделирования процессов нестационарной гидродинамики методом вязких вихревых доменов. № 8.
- Горобоц А. С., Гетманский В. В., Резников М. В. Параллельное решение систем дифференциально-алгебраических уравнений большой размерности. № 11.
- Десятков А. Д., Сирота А. А. Имитационное моделирование систем с адаптивной структурой на основе технологий автоматизированного создания моделей в среде MatLab + Simulink + Stateflow. № 3.
- Димитриенко Ю. И., Соколов А. П. Система автоматизированного прогнозирования свойств композиционных материалов. № 8.
- Захаров В. М., Эминов Б. Ф. Анализ алгоритмов разложения двоично-рациональных стохастических матриц на комбинацию булевых матриц. № 3.
- Карпенко А. П., Федорук В. Г. Обзор программных систем многокритериальной оптимизации. Отечественные системы. № 1.
- Картак В. М. Матричный алгоритм поиска оптимального решения для задачи упаковки прямоугольников в полубесконечную полосу. № 2.
- Картак В. М., Мухачева Э. А., Васильева Л. И., Петунин А. А. Задача размещения ортогональных многоугольников: модели и алгоритм покоординатной упаковки. № 3.
- Кухаренко Б. Г. Технология спектрального анализа на основе быстрого преобразования Фурье. № 4.
- Мезенцев Ю. А. Оптимизация расписаний параллельных динамических систем в календарном планировании. № 2.
- Мельник А. П., Чувашев С. Н., Зорина И. Г. Моделирование процессов теплопередачи для определения реальных теплофизических характеристик зданий. № 11.
- Мухачева Э. А., Бухарбаева Л. Я., Филиппов Д. В., Карипов У. А. Оптимизационные проблемы транспортной логистики: оперативное размещение контейнеров при транспортировке грузов. № 7.
- Орехов Ю. В., Орехов Э. Ю., Заминова А. Р. Исследование эффективности операторов генетического алгоритма при поиске экстремальных решений в бинарных и вещественных пространствах. № 9.
- Петунин А. А., Мухачева Э. А., Филиппова А. С. Метод прямоугольной аппроксимации для решения задач нерегулярного фигурного раскроя — упаковки. № 1.

- Филиппова А. С., Кузнецов В. Ю.** Задачи о минимальном покрытии ортогональных многоугольников с запретными участками. № 9.
- Шалагин С. В., Кайбушев Ф. Х.** Реализация схем умножения элементов поля Галуа в базисе ПЛИС класса FPGA. № 11.

НЕЙРОСЕТИ И НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЫ

- Жуков И. С.** Применение нейронной сети идентификации сигналов, передаваемых по командным радиолиниям космических аппаратов. № 7.
- Корсунов Н. И., Юдин А. А.** Решение задач теплопроводности с использованием нейросетевых компьютерных технологий. № 1.
- Малыхина Г. Ф., Меркушева А. В.** Сеть с габоровской функцией преобразования нейронов и метод классификации объектов дистанционного наблюдения. № 12.
- Маткова Е. А., Ковшов Е. Е.** Классификатор интегрированной системы биомедицинского назначения на базе нейросетевых модулей. № 12.
- Субботин С. А.** Метод синтеза классифицирующих нейронетических сетей с учетом значимости термов признаков. № 7.
- Чернецова Е. А.** Метод автоматизированной обработки изображений, представленных в виде массива величин интенсивности пикселей, с помощью нейронных сетей. № 1.

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

- Авдошин С. М., Песоцкая Е. Ю.** Информационные технологии управления рисками программных проектов. № 11.
- Александров А. Е.** Разработка и проектирование прикладных программных приложений на основе порождающего программирования. № 9.
- Востокин С. В.** Технология интеграции приложений на основе визуальной модели GraphPlus. № 11.
- Гаврилов А. В., Павлова Е. А.** Формализация проектирования сложных информационных систем на основе анализа функциональных интерфейсов. № 9.
- Емельянов П. В., Коротаев К. С.** Математическая модель обеспечения гарантий выделения ресурсов операционной системы. № 3.
- Иванов Д. И., Цикин И. А.** Реализация режима удаленного программирования в специализированной среде моделирования MATLAB. № 11.
- Князев Е. Г., Шопырин Д. Г.** Автоматизированная классификация изменений программного кода методами многомерного статистического анализа. № 5.
- Копысов С. П., Новиков А. К., Пономарев А. Б., Рычков В. Н., Сагдеева Ю. А.** Программная среда построения расчетных моделей метода конечных элементов для параллельных распределенных вычислений. № 3.
- Максименков Д. А.** Система генерации тестов со случайным набором команд в кодах $\times 86$. № 6.
- Миронов С. В.** Тестирование компиляторов на программные закладки. № 8.
- Пекунов В. В.** Автоматизация параллельного программирования при моделировании многофазных сред. № 5.
- Петров А. В., Гузев В. Б.** MC# — универсальный язык параллельного программирования. № 4.
- Рыжков Е. А., Карпов А. Н.** Подходы к верификации и тестированию 64-битных приложений. № 7.
- Синицкий М. Б., Синицкий Б. М.** Инновационный подход к разработке кросс-платформенных приложений. № 4.
- Тарасов Г. В., Харитонов Д. И.** Построение системы визуализации параллельных программ на основе сетей Петри. № 7.
- Холод И. И., Кочетков А. В.** Самовосстановление программных систем на основе автоматической классификации ошибок. № 6.
- Черемисинов Д. И.** Разработка параллельных программ для решения логико-комбинаторных задач. № 5.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

- Мельман С. В.** Визуализация объемов в задачах анализа физических полей синоптических объектов. № 1.

- Милов А. Н.** Два подхода к организации масштабируемых графических архитектур стандарта OpenGL на базе цифровых процессоров обработки сигналов. № 1.
- Орлов А. А., Канунова Е. Е.** Цифровая обработка текста на изображении рукописей как линейчатых объектов. № 1.

КОРПОРАТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Аникин М. А., Брейман А. Д.** Гибридная модель интеграции информации для корпоративных информационных систем с сервисно-ориентированной архитектурой. № 6.
- Жук Д. М., Андронов А. В.** Задачи автоматизации управления жизненным циклом изделия в рамках процессного подхода к управлению. № 6.
- Исмаилов И. И., Зиновьев П. А., Зинкин В. А.** Оценка уровня развития сложных технических систем: методика и ее приложение к корпоративным информационным системам. № 6.

БАЗЫ ДАННЫХ

- Борчук Л. Е.** Совершенствование процесса настройки запросов пользователей на основе асимптотических оценок затрат ресурсов. № 6.
- Брейман А. Д.** Средства автоматизации администрирования персональных баз данных. № 6.
- Кантор И. А.** Многокритериальные ограниченные сортирующие выборы в реляционных СУБД. Метод деревьев битовых карт. № 2.
- Олейник П. П.** Технология представления логических выражений с помощью XML документов. № 2.
- Самарев Р. С.** Организация внутризаясного параллелизма в унаследованных СУБД. № 2.

WEB-ТЕХНОЛОГИИ

- Зелепухина В. А.** Разработка систем управления содержимым интернет-ресурсов на основе автоматической генерации web-интерфейса и SQL-запросов. № 8.
- Орлов А. Ю., Ивашенко А. В.** Организация виртуального сообщества в сети Интернет. № 8.
- Печников А. А.** Вебметрические исследования Web-сайтов университетов России. № 11.
- Свечников С. В.** Высокореlevantный поиск и автоматическая категоризация ресурсов сети Интернет. № 5.
- Чеснавский А. А.** Семантическое отслеживание изменений на веб-сайтах. № 5.
- Шахов В. Г., Нопин С. В.** Анализ защищенности абонентских систем IP-телефонии от несанкционированного доступа. № 11.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ

- Асатов Х. Г., Набиев Н. А.** Многокритериальная оптимизация четких и нечетких информационно-измерительных систем нестационарного энергетического состояния. № 7.
- Балакирев Н. Е., Малков М. А.** Метод идентификации голозового сообщения. № 12.
- Бузановский В. А.** Принципы синтеза информационно-измерительных систем состава и свойств веществ. № 12.
- Горшков А. П., Грызлова Т. П.** Система диагностики состояния сложных технических объектов по характерным последовательностям цифровых сигналов. № 9.
- Керимов М. Д.** Вопросы оптимизации транзитивно-нечетких информационных систем дистанционного зондирования. № 2.
- Кирсанов А. П.** Комбинаторный метод описания и контроля процессов. № 7.
- Куликов Г. Э.** Автоматизированная система сбора и обработки данных для установок физического профиля. № 4.
- Малыхина Г. Ф., Меркушева А. В.** Метод анализа независимых компонент для восстановления формы сигналов по их смеси. № 9.

- Малыхина Г. Ф., Меркушева А. В.** Совместное использование нейронной сети и вейвлет-преобразования при анализе нестационарного сигнала. № 7.
- Плесовских А. К.** Решение задачи распределения опросов датчиков по потоку телеметрической информации с определением их адресов в системе "Орбита-IVMO". № 2.
- Чернецова Е. А., Шишкин А. Д.** Оптимальное ранговое правило обнаружения объекта. № 12.
- Чернышов А. В.** Автоматизированная генерация программ контроля бортовой телеметрической аппаратуры. № 4.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

- Важдаев А. Н.** Информационные системы, применяемые при работе, оценке и анализе инвестиционных проектов. № 2.
- Гончаренко С. Н.** Информационные технологии формирования альтернативных моделей инвестирования горнопромышленных проектов. № 2.
- Горбатков С. А., Полупанов Д. В.** Интеллектуальные информационные технологии отбора налогоплательщиков для проведения выездных проверок на основе гибридных нейросетевых моделей. № 10.
- Девятков Д. Х., Каплан Д. С., Иванов К. А.** Информационная система руководителя металлургического предприятия. № 9.
- Дрогин А. В.** Разработка научно-методического и программного обеспечения подсистемы бюджетирования АСУП. № 5.
- Машулин Ю. К.** Агрегированная модель развития рынка. № 12.
- Муханов Л. Е.** Адаптация модели сетей Байеса для обнаружения мошенничества с платежными картами. № 2.
- Муханов Л. Е.** Система обнаружения мошенничества в области платежных карт. № 5.
- Сафронов В. В., Григорьев И. В., Попов А. Н., Ткачук А. В.** Решение задачи совершенствования системы образования с использованием методов ранжирования. № 10.
- Синицын С. В., Хлытчиев О. И.** От процессов предприятия к основным объектам системы документооборота программных проектов. № 5.
- Соломатин А. Н.** Формирование оптимального состава бизнес-единиц компании с учетом стратегий их развития. № 2.
- Трахтенгерц Э. А.** Компьютерная технология реализации динамики информационного управления в конфликтных ситуациях. Часть I. Информационные оперативные воздействия. № 11.
- Трахтенгерц Э. А.** Компьютерная технология реализации динамики информационного управления в конфликтных ситуациях. Часть II. Оценка эффективности стратегии и целей. № 12.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- Герман А. С.** Процессы обеспечения информационно-телекоммуникационной среды передачи данных и видеоконференцсвязи в органах государственной службы. № 4.
- Соколов Э. М., Панарин В. М., Зуйкова А. А., Бизикин А. В.** Автоматизированная система экологического мониторинга атмосферы при выбросах вредных веществ. № 4.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

- Гагарина Л. Г., Фомина Н. С., Калинин И. С.** Теоретические основы методики интеллектуального тестирования. № 8.
- Доррер Г. А., Попов А. А., Рудакова Г. М., Сысенко К. В.** Оптимальная группировка разделяемых единиц контента в учебные модули на базе системы БиГОР. № 8.

- Карданова Е. Ю., Карпинский В. Б.** Специальные методы анализа результатов тестирования, основанные на свойстве объективности моделей Раша. № 4.
- Манчивода А. В., Малых А. А.** Достижения в Интернете и будущее информационной среды российского образования. № 1.
- Пантелеев Е. Р., Суворов В. А.** Оперативный анализ действий студента в среде Web-обучения. № 4.
- Серков Л. А.** Синергетическое моделирование образовательных процессов. № 1.
- Углев В. А., Устинов В. А., Добронев Б. С.** Системный подход к процессу обучающего компьютерного тестирования. № 4.
- Черняховская Л. Р., Герасимова И. Б., Нугаева К. Р.** Поддержка принятия решения по управлению качеством образовательного процесса на основе хранилища знаний университета. № 1.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

- Короткова М. А., Рекубретский В. А., Коротков А. Е., Шульга О. А., Скрябин К. Г.** Динамическая модель генетического контроля развития растений на примере *Arabidopsis thaliana*. № 7.
- Чумаченко Е. Н., Шашмурина В. Р.** Прогнозирование взаимодействия структур костной ткани беззубой нижней челюсти с полными съемными протезами. № 7.

ПРИКЛАДНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

- Алгулиев Р. М., Абдуллаев Р. С.** Анализ способов сокращения транспортных нагрузок на городскую инфраструктуру. № 5.
- Горбунов-Посадов М. М., Максимов Н. В., Полилова Т. А., Строгонов В. И.** Об информационном обеспечении деятельности ВАК Минобрнауки России. № 10.
- Джиган В. И., Плетнева И. Д.** Линейно-ограниченный нормализованный алгоритм по критерию наименьшего среднего квадратичного отклонения для цифровой адаптивной антенной решетки. № 10.
- Кулаков С. М., Трофимов В. Б., Бондарь Н. Ф., Чабан С. В.** Интеллектуальная система распознавания поверхностных дефектов проката. № 5.

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ И СИСТЕМЫ

- Алексеев А. А., Куликов А. И., Старушкин В. Г.** Визуальный построитель геологических сред "Seismic Model Manager". № 7.
- Бакаев В. В.** Система информационно-технической поддержки заказчика. № 7.

ДИСКУССИОННЫЙ КЛУБ

- Бочаров Н. В.** Информация в живых системах. № 12.
- Фридланд А. Я.** О сущности информации: два подхода. № 5.
- Шемакин Ю. И.** Системантика и информационные нанотехнологии. № 7.

ОБМЕН ОПЫТОМ

- Аникин В. И., Аникина О. В.** Эффективная техника создания табличных моделей в Microsoft Excel. № 10.

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

- Шилов В. В.** "Некий Томас Хилл...". Из истории одной идеи. № 6.

ИНФОРМАЦИЯ

- Перспективы** развития высокопроизводительных вычислительных архитектур. № 10.
- Пленарное заседание ИСО/МЭК/СТК1/ПК36** в Копее. № 7.

Указатель приложений к журналу "Информационные технологии", опубликованных в 2008 году

- Авдошин С. М., Белкин С. А. Фабрики приложений. № 1.
Авдошин С. М., Савельева А. А. Криптотехнологии Microsoft. № 9.
Батищев Д. И., Старостин Н. В., Филимонов А. В. Многоуровневая декомпозиция гиперграфовых структур. № 5.
Волосатова Т. М., Воронов А. В., Чичварин Н. В. Математическое и программное обеспечение решения задач анализа и синтеза для САПР оптико-электронных систем. № 4.
Гуревич И. М. Оценка основных информационных характеристик Вселенной. № 12.
Машкина И. В., Гузаиров М. Б. Интеллектуальная поддержка принятия решений по управлению защитой информации

в критически важных сегментах информационных систем. № 7.

- Напреенко В. Г. Применение технологии Н-моделей к задачам экономики и финансов. № 6.
Павлов В. В. Полихроматические множества и графы в структурном моделировании свойств технических систем. № 2.
Проблемы проектирования вычислительных комплексов серии "Эльбрус". Магистерские проекты кафедры информатики и вычислительной техники МФТИ. № 11.
Сведе-Швец В. Н., Сведе-Швец В. В. Комплекс принципов и аппаратно-программных средств ввода, преобразования, обработки, хранения, коммутации и передачи пространственно-временной многоканальной информации с 3D архитектурой. № 3.
Шилов В. В. Логические машины и их создатели. Краткая, но практически полная история. № 8.
Штрик А. А. Аналитический обзор материалов по состоянию и проблемам информатизации регионов России. № 10.

CONTENTS

- Naykhanova L. V., Khaptakhaeva N. B., Yansanova E. N. Method of Knowledge Extraction from the Terminological Dictionaries.** 2
The article is devoted to an approach to knowledge extraction from terminological dictionaries. This approach has declarative representation and represents production system. The metaknowledges is form for every dictionary. An unit of the metaknowledge is a pattern. The patterns represent some situations. One situation describes a proposition from the terminological dictionary. Metaknowledge is used for building production system.
Keywords: knowledge extraction, metaknowledge about the dictionary, production, system production.
- Bochkov M. V., Borodaschenco A. Yu., Salbiev A. L. The Estimation Algorithm of a Corpus of Texts on Semantic Similarity to the Standard** 8
The evaluator of affinity of two texts by their meaning content and structure, presented in the article, enables to heighten the quality of informational searching in the Internet, in official (corporate) nets and database programs, which contain full-text information. The evaluator actualize a searching function of affirmative texts by their reference to the text fragments, the most relevant user's needs. An original approach of searching results correlation is given to evaluate the productivity of that evaluator.
Keywords: text, text mining, semantic network, earl, semantic similarity
- Germashev I. V., Silina A. Y., Vasilyeva V. D., Derbisher V. E. The Fuzzy Data Processing for the Scientific Activity Estimation** 12
The methodology of the quantitative assessment of the researchers activity by means of the publication activity overall index calculation has been suggested. The benefits and possible practical usage of the methodology by way of the example of the university workers publications analysis have been considered.
Keywords: estimation of scientific activity, information, analysis of publications, scientific activity.
- Mandrikova O. V., Polozov Yu. A. Automated Processing Technique of Complicated Structure Signals** 15
The present paper is devoted to the solution of the problem of automated processing technique of complicated structure signals. The proposed method, based on the combined application of wavelet-transform construction and neural network, allow us to increase the resolution of data analysis applying neurone technologies, to improve the work of the net and to shorten the time of its education. The system of forecasting of critical frequency data, in which this technique is realized, is also considered.
Keywords: wavelet-transformation, neuron networks, critical frequency, digital processing of signals.
- Sokolov E. M., Panarin V. M., Nurtidinov R. V., Zuykova A. A. Introduction in Work of Controls of Uniform State System of the Prevention and Liquidation of Extreme Situations of New Information Technologies.** 20
In article the description system of tracking movement and condition of automobiles with use satellite navigation GPS is resulted. This system will allow to realize opportunity of visualization and the analysis of the user information on scaled electronic map included in system. The system will allow to keep the data moving and condition of controllable objects, to make on their basis the reports including data from electronic maps.
Keywords: Monitoring, satellite navigation, extreme situations, management, decision-making, geoinformation system.
- Zinkin S. A. Barrier Synchronization and Process Control Implementation in a Virtual Disk Array** 22
The virtual architecture of a network disk array, based on coordination methods for objects and processes interactions is considered. Abstract machine network-based formalism for the barrier processes synchronization is applied to gather the records fragments in a distributed network RAID-like array.
Keywords: network disk array, storage infrastructures, virtual storage resources, network implementation, abstract state machines.
- Andreev D. V. Digital Processors with One-Dimensional Structure for Sorting Multiple-Valued Data** 30
In this article produced the schemes and mathematical basis of results of work of one-dimensional processors for sorting multiple-valued data. The features of adjustment this processors on conversion unsorting serial (parallel) group of multiple-valued data in their sorting parallel (serial) group are considered.
Keywords: systolic processors, sorting, multivalued data.

- Malychina G. F., Merkusheva A. V.** *Network with Gabor's Transformation Function for Neurons and Classification Method for Objects Distant Observation*. 35
- The network with neuron transfer function (NTF) based on Gabor's time-frequency transformation is considered. Network implements the feature extraction followed by classification for multi-dimension vector of object parameters. Specifics of NTF, using time-shift, frequency modulation and scaling for Gauss function, and selected structure of neural network make it capable to recognize the controlled remote objects.
- Keywords:** neural network, Gabor transformation, multidimensional classification, recognition, learning algorithm, adaptation, optimization, network cluster, physical interpretation.
- Matkova K. A., Kovshov E. E.** *Integrated Biomedical System Classifier Based on Neural Network Modules*. 42
- During analyzing the articles about neural networks application in medicine, were found no works with the description of any uniform systems (diagnostic, predicting and medical treatment system). This article describes approach to creating the analyze data subsystem using neural network modules with two-ply perceptron scheme and well-defined training algorithm based on inverse interpolation matrix.
- Keywords:** biomedical modules, neural network, learning sample, attribute vector, activation function, solution algorithm, interpolation matrix.
- Trantengerts E. A.** *Computers Technologies of Realisation Informative Control Dynamics During Conflict Situations. II. Estimation of Strategies and Purposes Estimation*. 45
- Computer methods of strategies and purposes estimation of informative control during conflict situations are considered.
- Keywords:** strategies effectiveness, purposes effectiveness, conflict situations, computer technologies, purposes and strategies modifications.
- Mashunin Y. K.** *The Aggregated Model of Development of the Market*. 51
- The paper presents new methodology of construction and modeling of the aggregated markets. The mathematical model of the aggregated market is submitted as a vector problem of mathematical programming. In the aggregated model are realized, first, the balance of a cumulative demand and supply, second, purposefulness of each market participant (a manufacturer and a consumer) is saved. The methodology is shown on a test example of construction and modeling of the aggregated market.
- Keywords:** market, aggregated market, mathematical model of market, vector optimization, method vector optimization.
- Buzanovsky V. A.** *Synthesis Principles for Data Acquisition Systems for Composition and Properties of Substances*. 58
- Questions of synthesis for data acquisition systems for physicochemical composition and properties of substances are considered. The general principles to synthesize systems with required technical and economic characteristics are formulated.
- Keywords:** data acquisition system, substance, physicochemical composition, physicochemical property, synthesis.
- Chernetsova E. A., Shishkin A. D.** *Optimal Rank Rule of Object Detection*. 63
- Uniformly most powerful invariant rule of object detection using initial data ranks is presented. The rule is based on comparison of oscillations coming from three adjacent observation areas. Stability of the rule to observation conditions is noticed.
- Keywords:** decision rules, rank statistics, ordered sampling, distribution function, probability density.
- Balakirev N. E., Malkov M. A.** *Method of Voice Message Identification*. 66
- The paper presents new method of identification based on joint usage of a few parts of the voice message, its structural scheme and basic spheres of application of the device constructed with the help of this theoretical method.
- Keywords:** voice, voice message, identification of voice message, method of voice message identification.
- Botcharov N. V.** *An Information in a Living Systems*. 69
- In review is carefully analyzed the definition of Information proposed V. V. Sanochkin, that published in the second and he third numbers of scientific-popular magazine "Evolution". An examples, disclosing subjectivity of information at a moment of its formation, are considered. A direction of necessary scientific investigation in the domain of intellectual analysis of Information, expressed in a natural language, is specified.
- Keywords:** the information, the sense, the structure, information engineering.

Адрес редакции:

107076, Москва, Стромьинский пер., 4/1

Телефон редакции журнала (499) 269-5510

E-mail: it@novtex.ru

Дизайнер Т.Н. Погорелова. Художник В.Н. Погорелов.
Технический редактор О. А. Ефремова. Корректор З. В. Наумова

Сдано в набор 01.10.2008. Подписано в печать 17.11.2008. Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 9,8. Уч.-изд. л. 11,71. Заказ 1222. Цена договорная.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-15565 от 02 июня 2003 г.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика"
142110, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15
