

207(06)
17 72

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

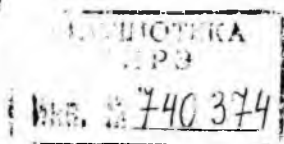
**Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник**

Основан в 1968 г.

В Ы П У С К 51

1740374

**207(06)
17 72**



Харків
Харківський державний технічний
університет радіоелектроніки

1999

В сборнике публикуются статьи по *БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА*.

Рассматриваются: теория интеллекта; логическая алгебра, моделирование работы органов чувств; теория естественного языка; машинная лингвистика; инженерия знаний, теория баз данных; применение бионики интеллекта в системах искусственного интеллекта.

Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.

У збірнику публікуються статті з *БІОНІКИ ІНТЕЛЕКТУ*.

Розглядаються: теорія інтелекту; логічна алгебра; моделювання роботи органів чуттів; теорія природної мови; машинна лінгвістика; інженерія знань; теорія баз даних; застосування біоники інтелекту у системах штучного інтелекту.

Для викладачів вищих закладів освіти, науковців і фахівців.

The journal publishes articles on *BIONICS OF INTELLIGENCE*.

The topics considered are: intelligence theory, logical algebra, modelling perception, natural language theory, computer linguistics, knowledge engineering, database theory, bionics of intelligence in artificial intelligence systems.

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

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

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

Сборник включен в список специальных изданий ВАК Украины по техническим наукам

Адрес редакционной коллегии: Украина, 61166, Харьков-166, просп. Ленина, 14, Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники (ХТУРЭ), тел. 40-94-46

М.Ф. БОНДАРЕНКО, С.И. МАТОРИН,
О.А. НЕСТЕРЕНКО, Е.А. СОЛОВЬЕВА

СИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПРОБЛЕМНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ОСНОВЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

В настоящее время значительно повысилась необходимость решения сложных слабоформализованных задач в самых различных областях человеческой деятельности. К таким областям относится, например, обеспечение устойчивого развития общества (sustainable development), которое становится все более проблематичным в связи с усилением воздействия человека на окружающую среду, вызванным возрастанием масштабов и интенсивности хозяйственной деятельности в современных условиях. Одним из конкретных выражений этой проблемы является постоянный рост количества чрезвычайных ситуаций (ЧС), уносящих жизни многих людей и приводящих к колоссальным материальным затратам, а также увеличению их разрушительного эффекта. Например, по данным Министерства Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций (МЧС), с 1995 по 1998 год число ЧС техногенного характера увеличилось со 111 до 713, а природного – с 28 до 424. При этом количество погибших в результате ЧС в 1998 году возросло по сравнению с 1997 годом на 11,3%, а количество пострадавших – на 59,5% [1].

Задача предотвращения и ликвидации ЧС связана с анализом слабоструктурированных проблемных областей (ПО), прогнозированием изменения состояния систем в динамических естественных условиях. Таким образом, решение этой актуальной задачи требует привлечения современных системных методов и новых интеллектуальных информационных технологий. Данное обстоятельство приводит к необходимости разработки методов анализа и моделирования сложных систем произвольной, в том числе естественной (первой) природы, относительно которых, как правило, не известны их роль в системе более высокого порядка (надсистеме), функциональное назначение (целевая функция) и, следовательно, их сущностные свойства.

Для решения подобных задач разработан и развивается новый системологический когнитивный подход и инструментарий, основанные на системологии и понятии систем-классов, или внешних систем, позволяющие анализировать функциональные существенные свойства и прогнозировать динамику развития сложных систем произвольной природы [2]. Названные подход и инструментарий уже применены для

решения различных задач. В частности, разработан системологический когнитивный метод концептуального классификационного моделирования произвольных, в том числе слабоструктурированных, ПО для баз знаний, баз данных и систем искусственного интеллекта. Выявлены закономерности когнитивных структур с учетом данных когнитологии, психологии, нейропсихологии, психолингвистики и т.д.

Это позволило исследовать классификацию, в том числе естественную, как особый метод когнитивного моделирования. Построена математическая модель естественной классификации (ЕК) с применением теории категорий; впервые предложены операциональные критерии и формальный критерий ЕК, обобщающий все известные сильные и слабые критерии естественности, задача получения которого была поставлена еще 150 лет назад [3 – 6]. С практической точки зрения это обеспечило создание системологического классификационного анализа, использующего метод концептуального моделирования (КМ) слабоструктурированных ПО на основе ЕК.

КМ на основе ЕК стало возможным не только в результате определения основных закономерностей и критериев ЕК, но также в результате создания нового научного направления – системологии систем-классов [7, 8]. С точки зрения системологии большое значение для КМ имеет развиваемый в рамках так называемого *детерминантного подхода* – детерминантный анализ, основное назначение которого заключается в определении надсистемы исследуемой системы и функционального запроса к системе, т. е. ее целевой функции и причины возникновения [8 – 11]. Если причина возникновения системы в некоторой ПО может быть установлена своими специфическими средствами, то применение детерминантного подхода в интересах КМ предполагает анализ системы с точки зрения определения:

- запроса надсистемы на данную систему с определенной функцией (*внешней детерминанты*);
- потенциально пригодного *исходного материала* для формирования данной системы и выполнения требуемой функции;
- процесса превращения исходного материала для данной системы в систему как субстанцию соответствующей надсистемы, т.е. *становления* данной системы и ее *адаптации* к запросу надсистемы;
- функции данной системы в надсистеме, соответствующей запросу надсистемы (*внутренней детерминанты*).

Результаты подобного анализа обеспечивают получение знаний соответственно о причине и условиях возникновения системы с определенными свойствами, о динамике процесса становления данной системы, а также о следствии ее возникновения и функционирования.

Рассмотрим кратко методологические основания данного подхода. Системология обеспечивает исследование любого объекта как системы с учетом меры его системности. При этом под системой понимается

функциональный объект, функция которого детерминирована потребностями надсистемы, где система имеет определенные место и роль. При этом система рассматривается не просто как объект, но как динамический объект вместе с процессом своего возникновения, становления и функционирования [7, 9]. Причиной возникновения и вполне определенного функционирования системы является потребность надсистемы, ее функциональный запрос, который определяет выбор потенциально пригодного для выполнения требуемой функции исходного материала и становится внешней детерминантой возникающей системы. После принятия в соответствующий узел надсистемы выбранного исходного материала он превращается в субстанцию надсистемы, т.е. становится собственно системой, имеющей требуемую функцию, поддерживающую функционирование надсистемы.

Таким образом, система со своими функциональными свойствами есть следствие наличия функционального запроса надсистемы на систему с определенной функцией, причем в процессе функционирования системы в надсистеме ее функция (текущая внутренняя детерминанта) будет постепенно приближаться к функции (предельной внутренней детерминанте), задаваемой внешней детерминантой, т.е. запросом надсистемы. Степень этого приближения может быть количественно оценена мерой системности [8], характеризующей степень адаптированности системы к запросу надсистемы. Следовательно, при установившемся процессе внутренней детерминанты системы согласуется с ее внешней детерминантой.

В случае рассогласования внешней (запроса надсистемы) и внутренней (функции системы) детерминанты системы возникает ситуация, которая может развиваться следующими путями. Во-первых, данная система может начать эволюционировать и выступить в роли исходного материала, если, например, произошло изменение внешней детерминанты системы и к ней теперь предъявляются новые требования. При этом надсистема должна быть достаточно устойчива для того, чтобы какое-то время выполнять свою функцию без надлежащей поддержки со стороны данной системы [9, 11]. Во-вторых, эта система может оказаться неподходящим исходным материалом (для старого или нового запроса надсистемы) и тогда надсистема будет стремиться избавиться от нее для того, чтобы включить в себя другой потенциально пригодный исходный материал. Если при этом надсистема не в состоянии выполнять свою функцию без поддержки со стороны данной системы, а новый исходный материал или отсутствует в резерве, или не может быть использован из-за недостатка времени, то мы имеем ситуацию, при которой система как непригодный исходный материал устраняется, но вместе с ним разрушается и надсистема. Эта ситуация на практике и представляет собой *чрезвычайную*.

Полученные результаты и многолетний опыт построения классификаций позволили развить и усовершенствовать известные методики КМ, в первую очередь на основе учета закономерностей ЕК и применения методов системологического анализа. Опишем кратко разработанный метод системного классификационного анализа для построения концептуальной классификационной модели (ККМ) на основе ЕК, учитывающий операциональные критерии ЕК и детерминантный подход к анализу ПО:

1. Системологический терминологический анализ ПО.

- Выявление совокупности терминов, обозначающих объекты и процессы данной ПО, т.е. терминов для понятий, описывающих данную ПО (категорных, общих и единичных).

- Анализ выявленной исходной совокупности терминов в целях определения степени ее приближения к терминосистеме по показателям полноты, связности и функциональности СП, соответствующей исходной совокупности терминов:

- анализ наличия родо-видовых определений для всех понятий, соответствующих выделенной совокупности терминов (видовых, родовых понятий и понятий видовых отличий);

- анализ степени взаимосвязанности рассматриваемых понятий;

- выявление в исходной совокупности терминов таких, которые соответствуют понятиям, отражающим функциональные свойства систем данной ПО (с точки зрения выявленных категорных понятий).

- Устранение пересечений, противоречий и пробелов в рассматриваемой совокупности терминов, т.е. ее максимально возможная оптимизация (приближение к терминосистеме).

2. Системологический концептуальный анализ ПО.

- Определение места (роли) данной ПО в более широкой ПО, т.е. надсистемы (или надсистем) данной ПО и соответствующего ей неопределяемого понятия (или понятий) (единственной категории или нескольких категорий с учетом нескольких аспектов рассмотрения данной ПО).

- Определение функциональных свойств систем данной ПО, существенных с точки зрения каждой выделенной надсистемы (категории).

- Обеспечение функциональности рассматриваемой СП, т.е. отражения в определениях всех понятий выявленных функциональных свойств систем данной ПО (в родовом понятии – надсистемы данной системы, в видовом отличии – функционального свойства системы в надсистеме, в видовых понятиях – поддерживающих свойств системы).

- Обеспечение связности СП путем установления иерархических родо-видовых отношений между понятиями данной ПО, отражающих отношения поддержания функциональной способности целого между системами данной ПО.

3. Системологический классификационный анализ ПО.

- Выбор основания построения классификационной модели (схемы) данной ПО (соответствующего выявленному функциональному признаку систем данной ПО с точки зрения определенной надсистемы для данной ПО).

- Обеспечение соответствия родо-видовых отношений между понятиями данной ПО родо-видовым отношениям между их видовыми отличиями в выбранной плоскости классифицирования.

- Построение иерархической классификации систем данной ПО изоморфной классификации их свойств (в данной плоскости классифицирования).

Для примера рассмотрим процесс КМ на основе ЕК в ПО «Чрезвычайная ситуация». Имеющиеся на сегодняшний день классификации ЧС, как и большинство классификаций других ПО, построены без применения не известных ранее системологических методов и критериев ЕК, что не позволяет их использовать не только для выработки рекомендаций при ликвидации последствий ЧС, но и для их анализа и предупреждения. В результате моделирования должна быть построена ККМ ЧС (ЕК ЧС).

ЧС – сложный естественный динамический процесс. Модель или классификация ЧС требуется не только и не столько для сбора статистической информации о ЧС, сколько для оценки обстановки и принятия решений в ходе ее ликвидации. Совершенно очевидно, что для этого необходимы знания о причинах возникновения ЧС, ее последствиях и самом процессе ее развития. Кроме того, знания о причинах и условиях возникновения ЧС необходимы для последующего анализа ЧС в целях предупреждения ее возобновления или повторения. Это требует, чтобы в основу методологии построения классификации ЧС или ККМ ЧС были положены ЕК и детерминантный подход.

Рассмотрим, какая ККМ ЧС может быть получена, если проанализировать ПО ЧС системно, с применением детерминантного подхода, а классификацию строить на основе естественной. С точки зрения детерминантного подхода ЧС представляет собой динамическую систему, имеющую в качестве своей внешней детерминанты (причины) резкое рассогласование детерминант подпроцесса некоторого установившегося процесса в условиях отсутствия необходимого исходного материала, а в качестве своей внутренней детерминанты (следствия) – функцию нарушения данного установившегося процесса.

В качестве понятия-категории выберем понятие «Ситуация», которое в данном случае не будет иметь определения, но будет использоваться для определения понятия ЧС, которое будет вершиной иерархической ККМ. Анализ существующих определений ЧС, особенно определения [12], показывает, что в них в принципе потенциально учитывается необходимая

с точки зрения детерминантного подхода информация о причине, последствиях и процессе развития ЧС. Этот анализ показывает, что:

- ЧС обусловлена *отрицательным влиянием* на природную среду и жизнедеятельность людей, что четко соотносится с разрушительной несогласованностью детерминант некоторого процесса, т. е. причиной (внешней детерминантой) возникновения ЧС.

- ЧС характеризуется резким нарушением *установившегося процесса*, что соответствует информации о роли, функции (следствии, внутренней детерминанте) ЧС в рамках некоторого процесса (надсистемы).

- ЧС требует применения *экстренных мер* для спасения людей и ликвидации ее последствий, что соотносится с информацией о процессе развития (становления) ЧС.

По нашему мнению, ККМ ЧС должна строиться по данным трем основаниям, так как классифицирование именно по этим аспектам обеспечивает приобретение необходимых знаний для анализа и выработки рекомендаций при ликвидации и предупреждении ЧС. Общий вид ККМ ЧС в виде трех дополняющих друг друга классификаций представлен на рис. 1.

При построении классификации ЧС по каждому основанию (по каждому аспекту) необходимо использовать предложенные операциональные критерии ЕК [6] для обеспечения максимальной естественности классификационной схемы в каждой плоскости классифицирования. Это необходимо потому, что любая искусственная классификация собственно знаний о ПО не выражает, это свойственно только ЕК [13]. Естественность классификации определяется, в первую очередь, ее параметричностью (интенциональностью) [14, 15], что соответствует требованию построения ККМ ЧС в виде двух (как минимум) изоморфных классификаций, одна из которых является классификацией объектов, а другая – классификацией свойств этих объектов [5].

Рассмотрим основные вопросы классифицирования ЧС по одному из выбранных оснований. ЕК ЧС по функциональному свойству «Отрицательное влияние», фрагмент которой изображен на рис. 2, представляет собой ККМ ЧС, отражающую причины возникновения ЧС. Для обеспечения естественности данной классификационной схемы ККМ самих ЧС строится на основании классификации отрицательных влияний, способных вызывать ЧС (т.е. причин), как изоморфная последней. При этом первоочередной, наиболее важной информацией для решения практической задачи ликвидации и предупреждения ЧС является информация о том, что представляет собой причина ЧС: зависящий от человека (управляемый человеком) процесс или неуправляемое человеком природное явление. Поэтому возможные отрицательные влияния разделены на два класса – «Стихийные бедствия» и «Человеческий фактор», в соответствии с которыми выделено два класса ЧС – «Природная ЧС» и «Антропогенная ЧС».

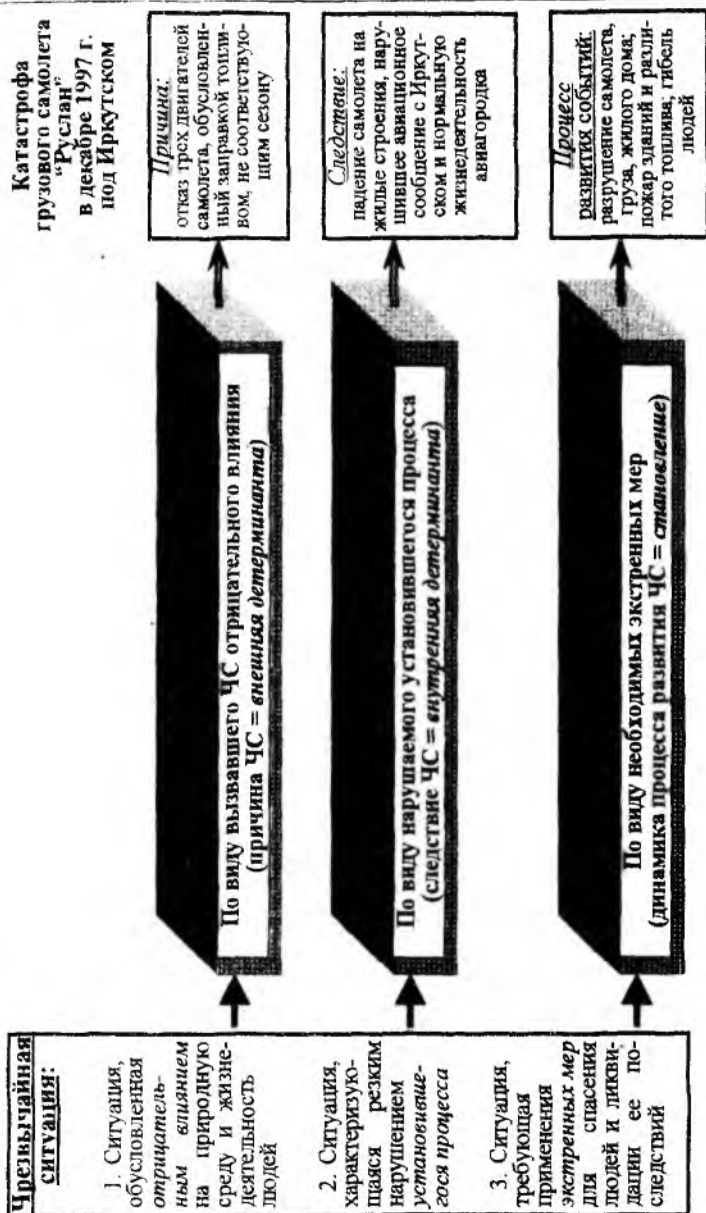


Рис. 1. Общий вид концептуальной классификационной модели ЧС

Дальнейшее классифицирование осуществляется в рамках этих двух классов по тому же самому основанию с соблюдением операциональных критериев ЕК. Данная классификация включает в себя и детализирует информацию о *характере* ЧС и связанную с ней информацию о *виде* ЧС в соответствии с системно-иерархическим классификатором ЧС (СИКЧС) ИК НАН и о *группе* ЧС в соответствии с временной классификацией ЧС (ВКЧС) МЧС.

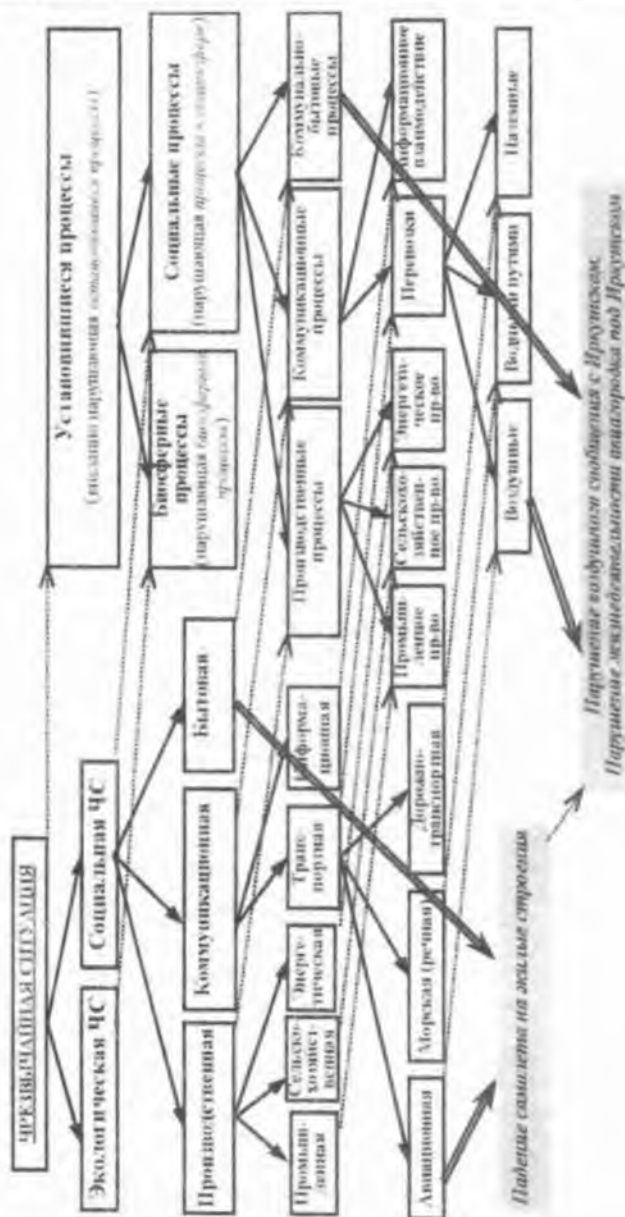
ЕК ЧС по функциональному свойству «Установившийся процесс», фрагмент которой изображен на рис. 3, представляет собой ККМ ЧС, отражающую их последствия. Данная классификация включает в себя и детализирует информацию о *классе* и *типе* ЧС и связанную с ней информацию о *виде* ЧС в соответствии с СИКЧС, а также о *типе* и *виде* ЧС в соответствии с ВКЧС.

ЕК ЧС по функциональному свойству «Экстренные меры», фрагмент которой изображен на рис. 4, представляет собой ККМ ЧС, отражающую характер процессов их развития и принимаемых мер по их ликвидации. Данная классификация включает в себя и детализирует неохваченную предыдущими классификациями информацию о *виде* ЧС в соответствии с СИКЧС.

Для получения знаний о конкретной причине возникновения той или иной ЧС, о конкретных ее последствиях, а также о динамике процесса развития конкретной ЧС необходим детерминантный анализ ситуации в конкретной ПО. Рассмотрим преимущества ЕК ЧС на конкретном примере, представленном в табл. 1. Ввиду отсутствия официальных данных все сведения, приведенные в примере, являются ориентировочными, используются для демонстрации метода и не претендуют на отражения реальных событий.

На данном примере хорошо видно, что существующие классификации ЧС не учитывают многие особенности ситуации, знание которых необходимо для принятия решений при ликвидации последствий ЧС или для их анализа в целях предупреждения. Подчеркнем, что эта информация не учитывается не только в данном примере. Она не может быть учтена в существующих классификациях в принципе, из-за их методологического несовершенства, так как они не могли быть основаны на системологическом классификационном анализе. Это обстоятельство делает существующие классификации практически непригодными для анализа ЧС в целях их предупреждения. В ЕК ЧС конкретные причины неисправности техники могут быть учтены с любой необходимой степенью точности и подробности.

Кроме того, применение существующей классификации ЧС не дает информации о том, что же все-таки происходило на самом деле. Из классификации в данном случае не видно, падал самолет или нет, каковы были разрушения, были ли пожары, хотя последнее совершенно очевидно (см. описание катастрофы: падение через 27 секунд после взлета, т.е. с полными баками горючего). Какие процессы были нарушены вследствие ЧС, в данном примере использования существующей классификации также не показано, хотя этот момент является основным в определении ЧС. Таким образом, существующие классификации ЧС не могут быть эффективно использованы и при принятии решений в процессе ликвидации последствий ЧС.



Матрица функционального процесса чрезвычайной ЧС

Рис. 3. Фрагмент ЕР ЧС по функциональному критерию «устойчивость и процессы» (последствие)

Анализ ЕК ЧС (ККМ ЧС) обнаруживает целый ряд ее преимуществ по сравнению с известными классификациями, проявляющихся в силу мощности методологических средств ее построения (системологический когнитивный подход, системный классификационный анализ, концептуальное классификационное моделирование на основе ЕК).

Таблица 1. Анализ примера использования классификаций ЧС

Катастрофа грузового самолета «Руслан» в декабре 1997 г. под Иркутском	
Отказ трех двигателей тяжелогруженого самолета через 27 секунд после взлета, падение на жилые строения авиагородка. В результате погибло 60 человек, разрушен жилой дом, самолет и груз уничтожен [12]	
СИКЧС ИК НАН	ЕК ЧС НУЛ ПЗ
Характер – техногенный Класс – транспортный Тип – авиационный транспорт Вид – отказ двигателей Место – над населенным пунктом Причина – неисправности техники	По причине: <i>Антропогенная ЧС (техногенная, эксплуатационная) – отказ трех двигателей самолета – обусловленная заправкой топливом не по сезону</i> По следствиям: <i>Социальная ЧС (транспортная, авиационная и бытовая) – падение самолета на жилые строения – нарушившая авиационное сообщение с г. Иркутском и жизнедеятельность авиагородка</i> По развитию событий и экстренным мерам: <i>ЧС, связанная с разрушением самолета, груза и жилого дома, а также пожаром в авиагородке с указанием необходимости разбора завалов и тушения пожара жилых зданий и разлитого топлива</i>
■ Отсутствует информация о конкретных причинах, вызвавших ЧС, необходимая для ее анализа в целях выработки рекомендаций по предупреждению ЧС ■ Отсутствует информация о нарушении авиаперевозок и жизнедеятельности авиагородка, необходимая для принятия решения при ликвидации последствий ЧС ■ Отсутствует информация о самом процессе ЧС (разрушениях, пожарах) и мерах по ликвидации ее последствий ■ Неполная информация о месте ЧС ■ Неполная информация о виде ЧС	Имеется полная информация о причинах ЧС, последствиях ЧС и динамике процесса ее развития с указанием мер по ликвидации последствий Результаты использования ЕК ЧС в качестве БЗ ИСППР (СППР + ЭС) позволили вырабатывать конкретные рекомендации для принятия решений при ликвидации ЧС (необходимость ликвидации конкретных разрушений и конкретных пожаров) и использовать знания о ЧС для анализа ее причин и выработки конкретных рекомендаций по мерам предупреждения ЧС (конкретные нарушения при подготовке к использованию двигателей самолета)

Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ классификаций ЧС

№	СИКЧС (ВКЧС)	ЕК ЧС
1	Методология построения классификаций не использует результаты системных и когнитивных исследований, а также последние результаты теории классификации	Использована системологическая когнитивная методология. ЧС рассмотрена как причина, как следствие и как процесс. ЕК ЧС рассматривается как совокупность естественных классов, связанных отношением поддержания функциональной способности целого
2	Классификации имеют совершенно произвольную искусственную (по типу УДК) сложную структуру. В результате изменение и совершенствование классификаций связано со значительной переработкой информации. При использовании в качестве БЗ они занимают большой объем памяти	Имеет простую логически обоснованную структуру системы понятий, связанных родо-видовыми отношениями. В результате имеется возможность неограниченного расширения и совершенствования классификации без переработки. При использовании ее в качестве БЗ она занимает меньший объем памяти
3	Являются непараметрическими классификациями, в которых не учтены свойства классифицируемых объектов. В результате в классификациях не могут быть представлены конкретные причины ЧС и конкретные меры по ликвидации последствий ЧС	Является параметрической классификацией, в которой учтены свойства классифицируемых объектов. В результате в ЕК ЧС представлена полная информация о ЧС
4	Каждый вид ЧС, требующий определенного способа ликвидации (мер), встречается в классификациях многократно в различных ветвях, что приводит к разрозненности информации, невозможности ее обобщения и, следовательно, невозможности ее эффективного использования при решении задач ликвидации и предупреждения ЧС	Вся информация о ЧС хранится однократно, с возможностью ее обобщения и неограниченной детализации по мере необходимости, что позволяет эффективно использовать ЕК ЧС для анализа и принятия решений
5	Процесс общения характеризуется сложностью и значительным временем обработки входной информации в связи с необходимостью ее перекодирования, что приводит к неудобству и не интеллектуальности интерфейса с БЗ	Обеспечена возможность непосредственного общения с БЗ понятиями естественного языка без дополнительного перекодирования информации
6	Не отражают знаний о ЧС, а только выборочную ограниченную информацию о ЧС и, следовательно, не приспособлены для выработки рекомендаций, а могут использоваться только для статистического учета	Выражает знания о свойствах и причинно-следственных связях процессов ЧС, что позволяет вырабатывать рекомендации по ликвидации последствий и предупреждению ЧС
7	Не обеспечивают корректность вывода на знаниях, что приводит к невозможности принятия оптимальных решений при ликвидации и предупреждении ЧС	Обеспечивает корректный вывод на знаниях, что обеспечивает принятие оптимальных решений при ликвидации и предупреждении ЧС

Рассмотренный пример показывает, что применение системологического когнитивного подхода и системологического классификационного анализа позволяет получить эффективный метод КМ слабоструктурированных ПО на основе ЕК.

Полученные результаты применены для создания интеллектуальной системы экспертного анализа состояния окружающей среды, прогнозирования и предотвращения ЧС (ИСЭАПП), которая включает в себя следующие четыре подсистемы: поддержки базы знаний (БЗ), прогнозирования состояния окружающей среды (ОКС), планирования решения и подсистему управления моделями. ИСЭАПП выполняет анализ текущего состояния технического объекта, производит прогноз будущего состояния и в случае предполагаемого возникновения ЧС формирует возможные варианты по предотвращению ее возникновения, а также поддерживает процесс принятия решений по выбору оптимального природоохранного мероприятия. Пример работы системы представлен на рис. 5.

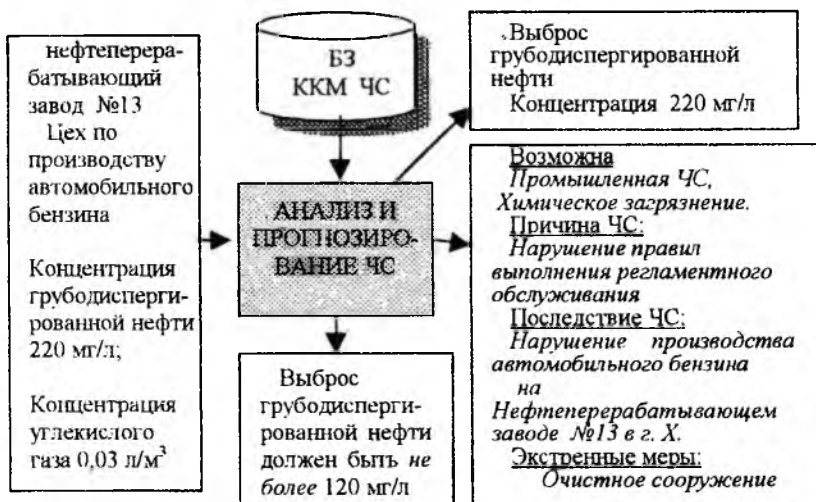


Рис. 5. Тестовый пример работы интеллектуальной системы

Разрабатываемая система выполняет следующие функции:

- моделирование объектов ПО и связей между ними;
- обеспечение интерфейса для ввода, дополнения и модифицирования информации об этих объектах;
- проведение анализа текущего состояния ОКС и прогнозирование её состояния в будущем в целях предотвращения ЧС;
- планирование решения по предотвращению и ликвидации ЧС.

Системологический когнитивный подход и системологический классификационный анализ использованы при создании ИСЭАПП на следующих этапах:

- при обосновании функциональной структуры системы;
- при моделировании ПО для создания БЗ;
- на этапе информационной подготовки решения (планирования решений) в подсистеме планирования решений;
- при проведении процесса принятия решений в подсистеме их поддержки.

Функции планирования и поддержки принятия решений на основании системологического подхода были реализованы в рамках системы на примере слабоструктурированной проблемы выбора оптимального природоохранного мероприятия (очистного сооружения) для предотвращения возможности возникновения ЧС прежде всего на объектах промышленного производства.

Поскольку область экологии является слабоструктурированной с отсутствием объективных моделей для получения обобщенной оценки качества альтернатив по всему множеству необходимых критериев (экологических, экономических, технологических и т.п.) при выборе оптимального решения, все сложности этой задачи ложатся на человека – лицо, принимающее решение (ЛПР). Кроме того, одна из основных проблем, которая возникает при выборе множества критериев для принятия решений – это выбор именно тех критериев, которые будут не только соответствовать интересам и предпочтениям ЛПР, но и отражать сущность решаемой проблемы. Чтобы поддержать опыт и интуицию ЛПР, необходимо обеспечить его максимально объективной информацией. С этой целью БЗ ИСЭАПП должна содержать информацию об объектах ПО и их свойствах (в частности, альтернативах решения), выбранную не произвольным образом, а с помощью наиболее объективного метода классифицирования, т.е. на основании ЕК. Использование при создании БЗ методов КМ на основе ЕК позволяет уже на первом шаге принятия решения предоставить пользователю объективный список критериев, в котором в принципе исключена возможность потери какой-нибудь значимой характеристики.

Применение системологического когнитивного подхода и системологического классификационного анализа при создании программной системы показало их перспективность и высокую эффективность с точки зрения интеллектуализации экспертных систем и систем поддержки принятия решений.

Список литературы: 1. Подрезов О. Анализ чрезвычайных ситуаций в Украине за 1998 год // Чрезвычайная ситуация. 1999. №3. С.42-51. 2. Бондаренко М.Ф., Маторин С.И.,

Соловьева Е.А. Анализ системологического инструментария концептуального моделирования проблемных областей // НТИ. Сер.2.1996.№4. С. 1-11. 3. *Соловьева Е.А.* О принципах проектирования, структуре и свойствах состоятельной модели системы понятий // НТИ. Сер.2. 1990. № 4. С.2-8. 4. *Соловьева Е.А., Ельчанинов Д.Б., Маторин С.И.* Применение теории категорий к исследованию и моделированию естественной классификации // НТИ.Сер.2. М.: ВИНТИ.1999.№ 3. С.1-7. 5. *Соловьева Е.А.* Математические и системологические основания естественной классификации // НТИ.Сер.2. М.: ВИНТИ.1999.№ 8. С. 2-9. 6. *Соловьева Е.А.* О математическом моделировании системы понятий, методе и критериях естественной классификации // НТИ. Сер.2. 1991. № 4.С.1-10. 7. *M.F. Bondarenko, S.I. Matorin and E.A. Solov'eva* "Analysis Of Systemological Tools For Conceptual Modeling Of Application Fields"// Automatic Document and Mathematical Linguistics. Allertion Press, Inc., New York, 1996. Vol. 30. No. 2. P.33-45. 8. *Бондаренко М.Ф., Соловьева Е.А., Маторин С.И.* Основы системологии / Учебное пособие. Харьков: ХТУРЭ, 1998. 118с. 9. Разработка подсистемы лингвистического обеспечения АИС документально-фактографического типа в области материаловедения: Отчет о НИР/Спец. конструкт.-технол. бюро информ. систем Ин-та пробл. Материаловедения (СКТБ ИС ИПМ) АН УССР; Руководитель Г.П. Мельников; № ГР 01.86.0103243. М., 1986. 452 с. 10. *Маторин С.И.* Детерминантный анализ системы переработки информации человека/Проблемы бионики. 1998. №49. С.72-80. 11. *Мельников Г.П.* Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 1978. 368 с. 12. Методология конструирования систем-но-иерархического классификатора чрезвычайных ситуаций/ *Белов В.М., Выходцев В.Р., Гриценко В.И., Кибикин В.Е., Котлов А.Б., Кифоренко С.И., Волков Ю.Н., Пустовыйт О.Г.* Кисев, 1998. 32с. (Препр./ НАН Украины, Междунар. науч.- уч. Центр информ. технологий и систем; 98-1). 13. *Розова С.С.* Классификационная проблема современной науки. Новосибирск: Наука, 1986. 224с. 14. *Мейен С.В., Шрейдер Ю.А.* Методологические аспекты теории классификации // Вопросы философии. 1976. №12. С.67-79. 15. *Цаленко М.Ш.* Моделирование семантики в базах данных. М.: Наука, 1989. 288с.

Поступила в редколлегию 11.08.99

З.В. ДУДАРЬ, С.А. ПОСЛАВСКИЙ,
А.В. ПРОНЮК, С.Ю. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

ПРЕДИКАТЫ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ В ЗАДАЧАХ КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

При компараторной идентификации в качестве математической модели идентифицируемого объекта часто используется предикат эквивалентности. В настоящей работе вводится общий вид этой модели, рассматриваются вопросы ее изоморфизмов и практической применимости.

Пусть $E(x, y)$ - предикат, заданный на декартовом квадрате непустого множества M . Будем писать xEy , если $E(x, y)=1$, и $x\bar{E}y$, если $E(x, y)=0$. Предикат E называется *рефлексивным*, если xEx для всех $x \in M$, *симметричным*, если для всех $x, y \in M$ из xEy следует yEx , и *транзитивным*, если для всех $x, y, z \in M$ из xEy и yEz следует xEz . Любой рефлексивный, симметричный и транзитивный предикат называется *предикатом эквивалентности* [1]. Пусть N - непустое множество; F - функция, отображающая множество M на множество N ; D - предикат равенства, заданный на $N \times N$. Будем писать uDv , если $D(u, v)=1$, и $u\bar{D}v$, если $D(u, v)=0$.

Теорема 1. *Любой предикат E , заданный на $M \times M$ и выражающийся при любых $x, y \in M$ в виде*

$$E(x, y) = D(F(x), F(y)), \quad (1)$$

есть предикат эквивалентности.

Функция F , фигурирующая в (1), называется *характеристической функцией* предиката эквивалентности.

Доказательство. Рефлексивность, симметричность и транзитивность предиката E непосредственно следуют из (1) и из рефлексивности, симметричности и транзитивности предиката равенства D .

Теорема 2. *Для любого предиката эквивалентности E , заданного на $M \times M$, найдутся непустое множество N и функция $F: M \rightarrow N$, такие что при любых $x, y \in M$ будет выполняться (1).*

Доказательство. Для каждого $x \in M$ существует единственное множество S_x всех y таких, что xEy . В роли множества N принимаем систему всех множеств S_x . Множество N не пусто. В роли F принимаем функцию, которая ставит в соответствие каждому элементу $x \in M$ множество S_x , так что $F(x) = S_x$. Докажем, что при таком выборе функции F равенство (1) выполняется при любых $x, y \in M$. Рассмотрим случай, когда x и y таковы, что xEy . Чтобы убедиться в том, что в данном случае $F(x)DF(y)$, достаточно доказать, что $S_x = S_y$. Докажем это. Пусть $z \in S_x$, тогда

$x \in z$. По свойству симметричности предиката E из $x \in y$ выводим $y \in x$. По свойству транзитивности предиката E из $y \in x$ и $x \in z$ выводим $y \in z$. Отсюда следует, что $z \in S_y$. Итак, мы получили, что $S_x \subseteq S_y$. Предположим теперь, что $z \in S_y$. Тогда $y \in z$. По свойству транзитивности из $x \in y$ и $y \in z$ выводим $x \in z$. Отсюда следует, что $z \in S_x$. Итак, мы получили, что $S_y \subseteq S_x$. Вместе взятые, эти два включения дают равенство $S_x = S_y$. Рассмотрим оставшийся случай, при котором x и y таковы, что $x \notin y$. Чтобы убедиться в том, что теперь $F(x) \neq D(F(y))$, достаточно доказать, что $S_x \neq S_y$. Докажем это. Из $x \notin y$ следует $y \notin S_x$. По свойству рефлексивности предиката E имеем $y \in y$, отсюда выводим $y \in S_y$. Следовательно, $S_x \neq S_y$. Мы доказали, что значения предикатов $E(x, y)$ и $D(F(x), F(y))$ совпадают при любых $x, y \in M$. Теорема доказана.

Из теорем 1 и 2 непосредственно следует, что *любые предикаты эквивалентности и только они могут быть представлены в виде (1) при подходящем выборе множества N и функции F* . Таким образом, правая часть равенства (1) представляет собой общий вид предиката эквивалентности. С математической точки зрения полученный результат тривиален, однако он весьма важен для теории компараторной идентификации, поскольку указывает систему необходимых и достаточных признаков, с помощью которых всегда можно установить, допускает ли объект, реализующий предикат E , идентификацию компараторным методом. Если система, имеющая два входа x, y и один выход t , реализует предикат $t = E(x, y)$, и этот предикат удовлетворяет условиям рефлексивности, симметричности и транзитивности, то ее можно идентифицировать компараторным методом. Если же хотя бы одно из этих трех условий не выполняется, то компараторный метод для такого объекта неприменим. Получаемые здесь результаты по компараторной идентификации могут быть применены к любым физическим объектам, удовлетворяющим только что перечисленным условиям.

В применении к зрительной системе человека элементы $x, y \in M$ интерпретируются как световые излучения, предъявляемые испытуемому для восприятия, M - это множество всех таких излучений. Элементы множества N $u = F(x)$ и $v = F(y)$ интерпретируются как цвета, возбуждаемые в сознании испытуемого излучениями x и y . Устанавливая совпадение или различие цветов u и v , испытуемый реализует предикат $D(u, v)$. Реагируя на излучения x и y , испытуемый реализует предикат $E(x, y) = D(F(x), F(y))$. Значение предиката $D(u, v) = 1$ соответствует реакции испытуемого, выражающей равенство цветов u и v . Значение предиката $D(u, v) = 0$ соответствует реакции испытуемого, выражающей несовпадение цветов u и v . Множество N представляет собой совокупность всех цветов, которые могут быть возбуждены в сознании испытуемого излучениями из множества M . Функцию F содержательно интерпретируем как

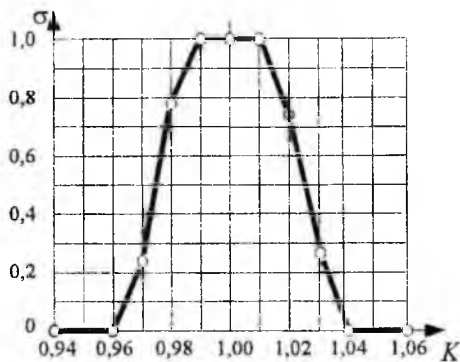
преобразование светового излучения в цвет, реализуемое зрительной системой испытуемого. Требование, что E есть предикат, означает: двоичный ответ испытуемого существует и единственен для каждой пары световых излучений множества M . Рефлексивность предиката E означает, что одинаковым световым излучениям соответствуют одинаковые цвета. Симметричность предиката E означает, что изменение порядка предъявления излучений испытуемому не влияет на его реакцию. Транзитивность предиката E означает: если для некоторого испытуемого излучения x, y и y, z одноцветны, то для того же испытуемого будут одноцветными также и излучения x, z .

Постулат о том, что испытуемый в опытах со сравнением цветов световых излучений реализует вполне определенный предикат E , не будет выполняться, если во время проведения опытов менять фон, на котором предъявляется каждое из излучений. Это вызвано эффектом цветовой индукции [2], заключающейся в том, что цвет тест-поля зависит от цвета окружающего его фона. Таким образом, стабильность фона является необходимым условием корректности компараторной идентификации цветового зрения человека. Но и при достижении стабильности фона реакцию испытуемого на пару световых излучений можно считать однозначной только с определенной степенью приближения. Дело в том, что ответы испытуемого при определенных условиях наблюдения носят вероятностный характер. Когда цвета излучений оказываются на границе равенства и неравенства, испытуемый ощущает неуверенность, которая выражается в нестабильности его ответа.

Сказанное проиллюстрируем следующим экспериментом. При помощи диска Максвелла [3] испытуемому предъявлялась на одном поле сравнения цветная поверхность (темно-красная), имеющая трехцветные координаты МКО [4] $x_1=0,483$, $y_1=0,308$, $\rho_1=0,13$. На втором поле сравнения предъявлялась цветная поверхность, излучающая свет того же спектрального состава, но несколько иной интенсивности, отличающейся в K раз ($x_2=x_1$, $y_2=y_1$, $\rho_2=K\rho_1$). Отношение интенсивности излучения второго поля к интенсивности первого равно $K=\rho_2/\rho_1$. Трехцветные координаты поверхностей определялись с помощью атласа цветов Рабкина [4]. Значение коэффициента K регулировалось углом раствора полей на диске Максвелла. Во время опытов диск Максвелла освещался зеркальной лампой типа ЗК220-500-2 мощностью 500 Вт с расстояния 2 м под углом 45° . В опытах использовались следующие численные значения коэффициента K : 0,96; 0,97; 0,98; 0,99; 1,00; 1,01; 1,02; 1,03; 1,04. При каждом значении K опыт повторялся 100 раз и для него вычислялось среднее арифметическое σ из ответов испытуемого. При этом ответу "цвета равны" приписывалось численное значение 1, ответу "цвета не

равны" - численное значение 0. Испытуемый заранее не знал, при каком значении K проводится каждый опыт.

На рисунке изображен полученный график. Графики такого рода называют *пороговыми кривыми* [5]. По оси абсцисс отложено значение коэффициента K , характеризующего интенсивность излучения второго поля, по оси ординат - значение параметра σ , характеризующего частоту формирования испытуемым ответа "цвета равны".



Как видно из рисунка, однозначность ответа испытуемого нарушается в двух зонах при $K=0,96-0,99$ и $K=1,01-1,04$. За пределами этих зон ответ испытуемого детерминирован и однозначно определяется предъявленными ему излучениями. Таким образом, постулат о существовании предиката E нарушается в довольно узких зонах изменения интенсивности излучения в пределах 3% ее величины. Следует учесть, что диск Максвелла является довольно грубым измерительным прибором. Проводя эти же опыты на оптическом субъективном колориметре (например, на колориметре Демкиной [6]), можно было бы зону нестабильности ответа испытуемого существенно сузить.

С помощью опытов только что описанного типа можно оценить степень выполнения закона рефлексивности для цветового зрения человека. После того, как получена пороговая кривая, определяется ее ось симметрии (на рисунке - это вертикальная линия $K=1,00$). Величина отклонения оси симметрии от положения $K=1,00$ характеризует степень нарушения закона рефлексивности. Специально поставленные опыты показали, что это отклонение составляет величину порядка $\pm 0,1\%$ от величины K . Таким образом, можно утверждать, что для цветового зрения человека закон рефлексивности выполняется по крайней мере с той точностью, с которой осуществляется в эксперименте дозирование величины K . По аналогичной методике были выполнены опыты по проверке законов симметричности и транзитивности. Они показали, что и эти законы выполняются для цветового зрения человека практически точно. Таким образом, цветовое зрение человека можно идентифицировать компараторным методом, при этом точность такой идентификации лимитируется лишь величиной зоны нестабильности ответа испытуемого.

Выше было показано, что пара (N, F) , состоящая из множества N и функции $F: M \rightarrow N$, определяет единственный предикат эквивалентности $E(x, y) = D(F(x), F(y))$, заданный на множестве $M \times M$. Но справедливо ли обратное утверждение? Будет ли каждый предикат эквивалентности E единственным образом определять пару (N, F) ? Оказывается, нет. Существуют такие различные пары (N, F) и (N', F') , которые задают один и тот же предикат E . Формулируемая ниже теорема указывает необходимое и достаточное условие, при выполнении которого две пары (N, F) и (N', F') определяют один и тот же предикат эквивалентности E .

Теорема 3. Для того чтобы две пары (N, F) и (N', F') определяли один и тот же предикат эквивалентности E , заданный на декартовом квадрате множества M , необходимо и достаточно, чтобы существовала биекция T с областью определения N и областью значений N' такая, что для всех $x \in M$ $F'(x) = T(F(x))$.

Доказательство. Достаточность. Предположим, что существует биекция $T: N \rightarrow N'$ такая, что для всех $x \in M$ $F'(x) = T(F(x))$. Докажем, что в этом случае значения предикатов $E(x, y) = D(F(x), F(y))$ и $E'(x, y) = D(F'(x), F'(y))$ совпадают при любых $x, y \in M$. Пусть x и y таковы, что $x \bar{E} y$. Тогда $F(x) \bar{D} F(y)$, $T(F(x)) \bar{D} T(F(y))$, $F'(x) \bar{D} F'(y)$, $x \bar{E}' y$. Если же $x \bar{E} y$, то $F(x) \bar{D} F(y)$, $T(F(x)) \bar{D} T(F(y))$, $F'(x) \bar{D} F'(y)$, $x \bar{E}' y$. Следовательно, для любых $x, y \in M$ $E(x, y) = E'(x, y)$. **Необходимость.** Пусть $E(x, y) = E'(x, y)$ для любых $x, y \in M$. Докажем, что в этом случае найдется биекция $T: N \rightarrow N'$ такая, что $F'(x) = T(F(x))$ для любого $x \in M$. Рассмотрим отношение $T \subseteq N \times N'$, представляющее собой множество всех пар вида $(F(x), F'(x))$, где x - произвольный элемент множества M . Покажем, что T есть взаимно-однозначная функция. Пусть x и y таковы, что $F(x) \bar{D} F(y)$. Тогда $x \bar{E} y$, $x \bar{E}' y$, $F'(x) \bar{D} F'(y)$. Если же $F'(x) \bar{D} F'(y)$, то $x \bar{E}' y$, $x \bar{E} y$, $F(x) \bar{D} F(y)$. Таким образом, отношение T есть взаимно-однозначная функция, причем $F'(x) = T(F(x))$ для любого $x \in M$. Областью определения функции T служит область значений функции F , т.е. множество N . Областью значений функции T служит область значений функции F' , т.е. множество N' . Отсюда, а также из определения понятия биекции [7] следует, что функция T - это биекция, отображающая все множество N на множество N' . Теорема доказана.

Из теоремы 3 непосредственно вытекает, что если при любых $x, y \in M$ предикат $E(x, y)$ можно представить в виде (1), то его также можно представить в виде

$$E(x, y) = D(T(F(x)), T(F(y))), \quad (2)$$

где T - произвольно выбранная биекция. Из теоремы 3 также следует, что если предикат E представлен двумя различными способами $E(x, y) = D(F(x), F(y)) = D(F'(x), F'(y))$, то всегда найдется такая биекция T ,

которая связывает функции F и F' зависимостью $F'(x)=T(F(x))$, справедливой при любом $x \in M$. Следовательно, получается, что нельзя указать единственно возможную характеристическую функцию F для предиката эквивалентности E .

Таким образом, если найдена некоторая функция F , математически описывающая объект идентификации, то на роль описания этого объекта с тем же правом может претендовать также целое семейство других функций. Поэтому при выборе функции F имеется большой произвол. В значительной мере произволен и выбор области значений функции F . Иными словами, выходные сигналы объекта компараторной идентификации также допускают различные варианты математического описания. Такая множественность представления объекта может навести на мысль о неполноте его описания методом компараторной идентификации и, следовательно, об ущербности этого метода по сравнению с классическими методами прямой идентификации. На самом деле степень полноты описания объекта при этих двух способах идентификации абсолютно одинакова. Дело в том, что при прямой идентификации описание объекта получается единственным лишь по той причине, что способ описания его выходных сигналов был выбран еще до начала идентификации. При компараторной же идентификации способ описания выходных сигналов выбирается в самом процессе идентификации, именно это и приводит к множественности описаний объекта.

Точно такая же множественность описаний объекта может возникнуть и при его прямой идентификации. Дело в том, что и при прямой идентификации выходные сигналы объекта могут описываться самыми различными способами. Так, компоненты вектора выходного сигнала можно нумеровать по-разному. Численные значения каждого из компонентов изменяются, если перейти к новой шкале при их измерении. Шкалу эту не обязательно брать линейной. Для каждого компонента можно брать свою собственную шкалу. Изменение же способа описания выходных сигналов объекта автоматически влечет за собой также и изменение описания самого объекта. После такого изменения описания линейный объект может даже превратиться в нелинейный. Таким образом, и при прямой идентификации математическое описание объекта может оказаться многовариантным. Это означает, что математическое описание объекта всегда получается лишь с точностью до произвольного биективного отображения. Требовать от компараторной или некомпараторной идентификации, чтобы она давала единственно возможное описание объекта, - это значит считать, что имеется единственная истинная система обозначений его выходных сигналов, что, конечно, неверно.

Нижеследующее утверждение доказывает, что методом компараторной идентификации объект описывается с точностью до изоморфизма.

Содержательно это означает, что компараторная идентификация (так же, как и прямая) дает с точностью до обозначений единственное описание объекта. Рассмотрим два предиката эквивалентности $E(x, y)$ и $E'(x', y')$. Первый из них задан на декартовом квадрате множества M , второй - на декартовом квадрате множества M' . Выразим предикаты E и E' в виде

$$E(x, y) = D(F(x), F(y)), \quad (3)$$

$$E'(x', y') = D'(F'(x'), F'(y')). \quad (4)$$

Согласно теореме 2, это всегда можно сделать. Здесь D - предикат равенства, заданный на декартовом квадрате множества N ; D' - предикат равенства, заданный на декартовом квадрате множества N' . Символами F и F' обозначены характеристические функции предикатов E и E' . Первая из них определена на множестве M и принимает значения на множестве N , вторая определена на M' и принимает значения на множестве N' .

Теорема 4. Если модели (M, E) и (M', E') изоморфны, то также изоморфны модели (N, D) и (N', D') .

Доказательство. Изоморфность моделей (M, E) и (M', E') означает [1], что существует биекция $G: M \rightarrow M'$ такая, что

$$E(x, y) = E'(G(x), G(y)) \quad (5)$$

при любых $x, y \in M$. Существование биективной функции G означает, что множества M и M' равномощны. Рассмотрим отношение H , заданное на декартовом произведении $N \times N'$ и образованное всеми парами вида $(F(x), F'(G(x)))$. Покажем, что отношение H функционально. Возьмем какие-нибудь элементы $x, y \in M$ и предположим, что $F(x)DF(y)$. Тогда в силу (3) xEy . Из (5) следует, что $G(x)E'G(y)$, откуда согласно (4) получаем $F'(G(x))D'F'(G(y))$. Итак, отношение H есть функция. Покажем, что функция H взаимно-однозначна. Пусть $x, y \in M$ таковы, что $F'(G(x))D'F'(G(y))$. Тогда в силу (4) $G(x)E'G(y)$. Отсюда согласно (5) выводим xEy . Последнее соотношение в силу (3) влечет $F(x)DF(y)$. Итак, H - взаимно-однозначная функция. Область значений функции F совпадает с множеством N , поэтому функция H определена на всем множестве N . Поскольку область значений функции F' совпадает с множеством N' , то областью значений функции H служит все множество N' . Итак, отношение H есть биекция, заданная на множестве N со значениями на множестве N' . Она может быть представлена равенством

$$F'(G(x)) = H(F(x)), \quad (6)$$

справедливым для всех $x \in M$. Из биективности отношения H следует, что множества N и N' равномощны. Доказываем изоморфность предикатов D и D' . Для любых $u, v \in N$ из uDv следует $G(u)D'G(v)$. Точно так же из uDv

следует $G(u)D'G(v)$. Итак,

$$D(u, v) = D'(G(u), G(v)) \quad (7)$$

при любых $u, v \in N$. Теорема доказана.

Пусть $u = F(x)$ - математическое описание объекта, заданного предикатом $E(x, y)$; $u' = F'(x')$ - описание того же объекта, заданного предикатом $E'(x', y')$. Функция F отображает множество M на множество N , а функция F' отображает множество M' на множество N' . Если множество M отличается от множества M' , а множество N от множества N' , то это может означать лишь то, что входные сигналы x, x' и выходные сигналы u, u' объекта описаны в различных системах обозначений. Поэтому должны существовать биекции G и H такие, что $x' = G(x)$ и $u' = H(u)$. Они задают переход от одной системы обозначений сигналов объекта к другой. Пользуясь только что записанными соотношениями, можем равенство $u' = F'(x')$ переписать в виде $H(u) = F'(G(x))$. Учитывая (6), имеем $H(u) = H(F(x))$. Так как отображение H биективно, то $u = F(x)$. Мы превратили описание F объекта в описание F' . Аналогичным способом можно превратить описание F' объекта в описание F . Полученный результат означает, что объект компараторной идентификации может иметь различные описания F и F' только за счет того, что его входные и выходные сигналы представлены в различных системах обозначений. Если потребовать, чтобы входные и выходные сигналы объекта всегда описывались в одной и той же системе отсчета (т.е. каким-то стандартным способом), то при компараторной идентификации, так же как и при прямой, описание объекта будет единственным.

Список литературы: 1. Мальцев А.И. Алгебраические системы. М.: Наука, 1970. 392 с. 2 Кравков С.В. Цветовое зрение. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 175 с. 3 Нюберг Н.Д. Измерение цвета и цветовые стандарты. М.: Стандартизация и рационализация. 1933. 104 с. 4. Рабикин Е.Б. Атлас цветов. М.: Медгиз, 1956. 52 с. 5 Ивенси Р.М. Введение в теорию цвета. М.: Мир. 1964. 441 с. 6 Раутиан Г.Н. Колориметрические приборы. Справочная книга оптика-механика. Ч. 1. М.: ОНТИ. 1936. 281 с. 7. Курош А.Г. Лекции по общей алгебре. М.: Наука. 1975 400 с.

Поступила в редакцию 05.10.98

З.В. ДУДАРЬ, А.В. ПРОНЬЮК, С.Ю. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

ОБ ИЗОМОРФНЫХ ПРЕДИКАТАХ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ

Ввиду важности вопроса об изоморфности характеристических функций эквивалентностей для решения задач компараторной идентификации* в этой статье продолжена его разработка.

Предикаты P и P' на $A \times B$ и $A' \times B'$ называются слабо изоморфными (или просто изоморфными), если существуют биекции $\varphi: A \rightarrow A'$ и $\psi: B \rightarrow B'$, такие что для всех $x \in A$ и $y \in B$ выполняется равенство

$$P(x, y) = P'(\varphi(x), \psi(y)). \quad (1)$$

Будем говорить также, что предикат P (φ, ψ) -изоморфен предикату P' . Биекции φ и ψ , удовлетворяющие условию (1), называются левым и правым изоморфизмами предикатов P и P' . Предикаты $P(x, y)$ и $P'(x', y')$ на $A \times B$ и $A' \times B'$ называются сильно изоморфными, если существует биекция $\varphi: A \cup B \rightarrow A' \cup B'$, такая что для всех $x \in A$ и $y \in B$ выполняется равенство

$$P(x, y) = P'(\varphi(x), \varphi(y)). \quad (2)$$

Будем говорить также, что предикат P φ -изоморфен предикату P' . Биекция φ , удовлетворяющая условию (2), называется изоморфизмом предикатов P и P' .

Понятия слабого и сильного изоморфизмов предикатов играют в теории компараторной идентификации важную роль. Дело в том, что выбор обозначений для сигналов идентифицируемой системы находится всецело во власти исследователя и определяется принятой им системой единиц. Если два исследователя, изучая поведение одной и той же системы, используют разные обозначения для ее входных сигналов, то они получают для нее различные предикаты. Если все входные сигналы одной и той же изучаемой системы каждым исследователем записываются в единой (но своей) системе единиц, то получаемые ими предикаты будут сильно изоморфными, если же - в разных, то предикаты будут слабо изоморфными. В этом случае будем говорить, что изучаемые системы идентифицированы с точностью до обозначений (общих или раздельных). В случае сильной изоморфности предикатов будем говорить, что идентифицируемые системы совпадают с точностью до обозначений в единой системе единиц. В случае слабой изоморфности предикатов будем говорить, что идентифицируемые системы совпадают с точностью до обозначений в разных системах единиц.

* Дударь З.В., Пославский С.А., Шабанов-Кушнаренко С.Ю., Предикаты эквивалентности в задачах компараторной идентификации // Проблемы бионики. 1999. № 51. С. 19-26.

Теорема 1. *Изоморфизм φ предикатов P и P' , определенных соответственно на $A \times B$ и $A' \times B'$, биективно отображает $A \cap B$ на $A' \cap B'$, $A \setminus B$ на $A' \setminus B'$ и $B \setminus A$ на $B' \setminus A'$.*

Доказательство. Доказываем, что φ отображает $A \cap B$ на $A' \cap B'$. Поскольку $A \cap B \subseteq A \cup B$, то, по определению сильно изоморфных предикатов P и P' , для всех $x \in A \cap B$, $y \in B$ и $z \in A$ имеют место равенства $P(x, y) = P'(\varphi(x), \varphi(y))$ и $P(z, x) = P'(\varphi(z), \varphi(x))$. Следовательно, $\varphi(x) \in A'$ и $\varphi(x) \in B'$, т.е. $\varphi(x) \in A' \cap B'$. Так как φ - биекция, то для всех $x \in A' \cap B'$, $y \in B'$ и $z' \in A'$ имеют место равенства $P'(x, y) = P(\varphi^{-1}(x'), \varphi^{-1}(y'))$, $P'(z', x) = P(\varphi^{-1}(z'), \varphi^{-1}(x'))$. Следовательно, $\varphi^{-1}(x') \in A \cap B$. Таким образом, ограничение функции φ на $A \cap B$ имеет значения в множестве $A' \cap B'$ и сюръективно. Кроме того, φ инъективно. Поэтому φ биективно отображает множество $A \cap B$ на множество $A' \cap B'$. Доказываем, что φ отображает $A \setminus B$ на $A' \setminus B'$. Пусть $x \in A \setminus B$. Предположим, что $\varphi(x) \in B'$. Тогда для всех $z' \in A'$ имеет место равенство $P'(z', \varphi(x)) = P(\varphi^{-1}(z'), x)$. Следовательно, $x \in B$, что противоречит условию. Таким образом, имеем: $\varphi(x) \in A' \setminus B'$. Аналогично выводим, что для всех $x \in A' \setminus B'$ $\varphi^{-1}(x) \in A \setminus B$. Значит, φ сюръективно отображает $A \setminus B$ на $A' \setminus B'$. Будучи инъективной по определению, φ биективно отображает $A \setminus B$ на $A' \setminus B'$. Доказательство того, что φ биективно отображает $A' \setminus B'$ на $A \setminus B$, аналогично предыдущему. Теорема доказана.

Содержательно теорема 1 означает, что если сигналы x и y системы $P(x, y)$ имеют имена в единой системе обозначений, то при переобозначении этих имен необходимо имена из области $A \cap B$ превратить в имена из области $A' \cap B'$, имена из $A \setminus B$ - в имена из $A' \setminus B'$ и имена из $B \setminus A$ - в имена из $B' \setminus A'$. Если сделать иначе, то предикат P' , получаемый из предиката P в результате переобозначения его входных сигналов, может оказаться не изоморфным предикату P , что недопустимо.

Теорема 2. *Если $A \cap B = \emptyset$ и $A' \cap B' = \emptyset$, то слабо изоморфные предикаты P и P' , определенные на $A \times B$ и $A' \times B'$, будут также и сильно изоморфными.*

Доказательство. Если предикаты P и P' слабо изоморфны, то существуют биекции $\varphi_1: A \rightarrow A'$ и $\varphi_2: B \rightarrow B'$, такие, что для всех $x \in A$ и $y \in B$ выполняется равенство $P(x, y) = P'(\varphi_1(x), \varphi_2(y))$. Положим

$$\varphi(x) = \begin{cases} \varphi_1(x), & \text{если } x \in A; \\ \varphi_2(x), & \text{если } x \in B. \end{cases}$$

Очевидно, что φ биективно отображает $A \cup B$ на $A' \cup B'$, и для всех $x \in A$ и $y \in B$ выполняется равенство $P(x, y) = P'(\varphi(x), \varphi(y))$. Это означает, что предикаты P и P' сильно изоморфны. Теорема доказана.

Содержательно теорема 2 означает: два различных описания одной и той же идентифицируемой системы $P(x, y)$, входные сигналы которой

определены на непересекающихся областях, всегда совпадают с точностью до сильного изоморфизма, т.е. совпадают с точностью до обозначений входных сигналов x и y системы P , описываемых в единой системе обозначений.

Теорема 3. Пусть P и P' - предикаты, определенные на $A \times B$ и $A' \times B'$; $A \cap B$ не пусто; $\varphi_1: A \rightarrow A'$ и $\varphi_2: B \rightarrow B'$ - левый и правый изоморфизмы предикатов P и P' . Если образом множества $A \cap B$ при отображениях φ_1 и φ_2 является множество $A' \cap B'$ и на множестве $A \cap B$ значения биекций φ_1 и φ_2 совпадают, то предикаты P и P' сильно изоморфны.

Доказательство. Так как предикаты P и P' слабо изоморфны, то для всех $x \in A$ и $y \in B$ $P(x, y) = P'(\varphi_1(x), \varphi_2(y))$. Положим

$$\varphi(x) = \begin{cases} \varphi_1(x), & \text{если } x \in A, \\ \varphi_2(x), & \text{если } x \in B \setminus A. \end{cases}$$

Поскольку $\varphi_1(x)$ биективно отображает множество A на множество A' , а $\varphi_2(x)$ - множество $B \setminus A$ на $B' \setminus A'$, то $\varphi(x)$ биективно отображает $A \cup B$ на $A' \cup B'$. Докажем, что для всех $x \in A$ и $y \in B$ $P(x, y) = P'(\varphi_1(x), \varphi_2(y))$. Пусть $x \in A$ и $y \in B$. Возможны два случая: $y \in A \cap B$ и $y \in B \setminus A$. Пусть $y \in A \cap B$. Тогда, поскольку по условию теоремы 3 значения биекций φ_1 и φ_2 совпадают, то $\varphi_2(x) = \varphi_1(x) = \varphi(x)$. Если же $y \in B \setminus A$, то $\varphi_2(y) = \varphi(y)$. Следовательно, при любых $x \in A$ и $y \in B$ имеем: $P(x, y) = P'(\varphi_1(x), \varphi_2(y)) = P'(\varphi(x), \varphi(y))$. Это означает, что предикаты P и P' сильно изоморфны. Теорема доказана.

Содержательно теорема 3 означает, что если для системы $P(x, y)$ найдется сигнал a , который можно подать как на вход x , так и на вход y (т.е. $x=y=a$), и если все такие сигналы переобозначаются биекциями $\varphi_1(x)=x'$ и $\varphi_2(y)=y'$ по-одинаковому, то в результате получаем предикат $P'(x, y)$, вне зависимости от способа переобозначения остальных сигналов (при условии, что для них не используются имена сигналов a).

Теорема 4. Если предикаты эквивалентности E и E' на $A \times A$ и $A' \times A'$ слабо изоморфны, то они также и сильно изоморфны.

Доказательство. Поскольку предикаты E и E' слабо изоморфны, то существуют биекции $\varphi_1: A \rightarrow A'$ и $\varphi_2: A \rightarrow A'$, такие что для любых $x, y \in A$ имеет место равенство $E(x, y) = E'(\varphi_1(x), \varphi_2(y))$ (а). Подставляя в (а) $y=x$, по свойству рефлексивности предиката E получаем $E'(\varphi_1(x), \varphi_2(x))=1$ (б). Далее, используя свойство симметричности предиката E' , выводим $E'(\varphi_2(x), \varphi_1(x))=1$ (в). Пусть $x, y \in A$ таковы, что $E(x, y)=1$. Тогда из (а) следует $E'(\varphi_1(x), \varphi_2(y))=1$ (г). По свойству транзитивности предиката E' из (в) и (г) выводим $E'(\varphi_2(x), \varphi_2(y))=1$ (д). Если же $x, y \in A$ таковы, что $E(x, y)=0$, то из (а) следует $E'(\varphi_1(x), \varphi_2(y))=0$ (е). Если бы выполнялось равенство (д), то, в силу транзитивности предиката E' , из (б) и (д) следовало бы $E'(\varphi_1(x), \varphi_2(y))=1$, что противоречит (е). Следовательно, (д) не

выполняется, т.е. $E'(\varphi_2(x), \varphi_2(y))=0$. Итак, для всех $x, y \in A$ имеет место равенство $E(x, y)=E'(\varphi_2(x), \varphi_2(y))$. Это означает, что предикаты E и E' сильно изоморфны. Теорема доказана.

Содержательно теорема 4 означает, что сигналы x и y предиката эквивалентности $E(x, y)$ нельзя описывать в разных системах обозначений, а только в одной и той же. Желая описать систему $E(x, y)$ моделью эквивалентности, исследователь должен выражать ее выходные сигналы x и y в одной системе обозначений.

Теорема 5. Пусть E - предикат эквивалентности на $A \times A$ и $F: A \rightarrow B$ - его характеристическая функция. Тогда эквивалентность E изоморфна равенству D на $B \times B$ в том и только том случае, когда F инъективна.

Доказательство. Необходимость. Пусть предикаты E и D изоморфны. Тогда существует биекция $\varphi: A \rightarrow B$ такая, что для всех $x, y \in A$ $E(x, y)=D(\varphi(x), \varphi(y))$. Проверяем инъективность функции F . Пусть $x, y \in A$ таковы, что $F(x)=F(y)$. Тогда $E(x, y)=1$, следовательно, $\varphi(x)=\varphi(y)$. Поскольку φ биективна, то $x=y$. **Достаточность.** Пусть функция F инъективна. Поскольку F сюръективна, то она биективна. По определению характеристической функции F предиката E для всех $x, y \in A$ $E(x, y)=D(F(x), F(y))$. Следовательно, предикаты E и D изоморфны. Теорема доказана.

Теорема 5 дает ответ на вопрос, в каких случаях при восприятии предметов человек получает о них всю информацию, а в каких - не всю. Информация не теряется в тех случаях, когда органы чувств человека каждому предмету ставят в соответствие свой субъективный образ (неважно какой). Если же образов меньше, чем воспринимаемых предметов, то часть информации о предметах теряется. Глаз человека при восприятии световых излучений теряет часть информации о них. Это доказывается тем, что существуют такие различные световые излучения, которые воспринимаются глазом в виде одного и того же цвета. Например, существует такая смесь красного и зеленого монохроматических излучений, которая неотличима по цвету от желтого монохроматического излучения.

Переходим к изучению изоморфизма характеристических функций эквивалентностей. Любую функцию $y=F(x)$, отображающую множество A в множество B , можно задать, указывая соответствующий ей предикат $F(x, y)$, определенный на $A \times B$. Для этого при любых $x \in A, y \in B$ полагаем $F(x, y)=1$, если $F(x)=y$, и $F(x, y)=0$, если $F(x) \neq y$. Пусть $F: A \rightarrow B$ и $F': A' \rightarrow B'$ - функции, а F и F' на $A \times B$ и $A' \times B'$ - соответствующие им предикаты. Будем говорить, что функция F (φ, ψ)-изоморфна функции F' , если предикат F (φ, ψ)-изоморфен предикату F' . Если биекции φ и ψ существуют, то будем говорить, что функции F и F' слабо изоморфны. Если, кроме того, $\varphi=\psi$, то будем говорить, что они сильно изоморфны.

Пусть имеется преобразователь сигналов, реализующий функцию $y=F(x)$, которая отображает множество A на множество B . Переименовывая его входные и выходные сигналы x и y с помощью биекций $\varphi: A \rightarrow B$ и $\psi: A \rightarrow B$, получаем $x'=\varphi(x)$, $y'=\psi(y)$. В результате тот же преобразователь сигналов опишется уже другой функцией $y'=F'(x')$, отображающей множество A' на множество B' . Обозначая через φ^{-1} функцию, обратную биекции φ , выражаем функцию F' через функцию F :

$$F'(x')=\psi(F(\varphi^{-1}(x'))). \quad (3)$$

Аналогично выражается функция F через функцию F' :

$$F(x)=\psi^{-1}(F'(\varphi(x))), \quad (4)$$

где ψ^{-1} - функция, обратная биекции ψ .

Пусть E и E' - эквивалентности на $A \times A$ и $A' \times A'$; D и D' - предикаты равенства на $B \times B$ и $B' \times B'$.

Теорема 6. Если предикат E φ -изоморфен предикату E' , то существует такая биекция $\psi: A \rightarrow B$, что функция F (φ, ψ)-изоморфна функции F' , а предикат D ψ -изоморфен предикату D' .

Доказательство. Поскольку предикаты E и E' φ -изоморфны, то существует биекция $\varphi: A \rightarrow A'$ такая, что для любых $x, y \in A$ $E(x, y)=E'(\varphi(x), \varphi(y))$. Рассмотрим отношение ψ , заданное на $B \times B'$ и образованное всеми парами вида $(F(x), F'(\varphi(x)))$, где $x \in A$. Пусть $x, y \in A$ таковы, что $F(x)=F(y)$. Тогда $E(x, y)=1$, $E'(\varphi(x), \varphi(y))=1$, $F'(\varphi(x))=F'(\varphi(y))$. Таким образом, отношение ψ удовлетворяет условию однозначности. Область значений функции $F(x)$ совпадает с множеством B , поэтому отношение ψ всюду определено слева. Следовательно, отношение ψ есть функция. Область значений функции $F'(\varphi(x))$ совпадает с множеством B' , поэтому функция ψ сюръективна. Пусть $x, y \in A$ таковы, что $F'(\varphi(x))=F'(\varphi(y))$, тогда $E'(\varphi(x), \varphi(y))=1$, $E(x, y)=1$, $F(x)=F(y)$. Следовательно, функция ψ инъективна. Итак, отношение ψ есть биекция, отображающая B на B' . Из определения отношения ψ непосредственно следует, что для всех $x \in A$ $F'(\varphi(x))=\psi(F(x))$. Согласно (4) это означает, что функции F и F' (φ, ψ)-изоморфны. Доказываем изоморфность предикатов D и D' . В силу биективности ψ , для любых $u, v \in B$ из $D(u, v)=1$ следует $u=v$, $\psi(u)=\psi(v)$, $D'(\psi(u), \psi(v))=1$; из $D(u, v)=0$ следует $u \neq v$, $\psi(u) \neq \psi(v)$, $D'(\psi(u), \psi(v))=0$. Итак, для любых $u, v \in B$ $D(u, v)=D'(\psi(u), \psi(v))$, а это означает, что предикаты D и D' ψ -изоморфны. Теорема доказана.

Теорема 7. Если функция F (φ, ψ)-изоморфна функции F' , то предикат E φ -изоморфен предикату E' , а предикат D ψ -изоморфен предикату D' .

Доказательство. Предположим, что функция F (φ , ψ) - изоморфна функции F' . Тогда, согласно (4), $F'(x) = \psi^{-1}(F'(\varphi(x)))$ для любого $x \in A$. Пусть $x, y \in A$ таковы, что $E(x, y) = 1$. Тогда $D(F(x), F(y)) = 1$, $F(x) = F(y)$, $\psi^{-1}(F'(\varphi(x))) = \psi^{-1}(F'(\varphi(y)))$, $F'(\varphi(x)) = F'(\varphi(y))$, $D'(F'(\varphi(x)), F'(\varphi(y))) = 1$, $E'(\varphi(x), \varphi(y)) = 1$. Если же $x, y \in A$ таковы, что $E(x, y) = 0$, то $D(F(x), F(y)) = 0$, $F(x) \neq F(y)$, $\psi^{-1}(F'(\varphi(x))) \neq \psi^{-1}(F'(\varphi(y)))$, $F'(\varphi(x)) \neq F'(\varphi(y))$, $D'(F'(\varphi(x)), F'(\varphi(y))) = 0$, $E'(\varphi(x), \varphi(y)) = 0$. Итак, при любых $x, y \in A$ $E(x, y) = E'(\varphi(x), \varphi(y))$. Мы доказали, что предикат E φ -изоморфен предикату E' . Пусть $u, v \in B$ таковы, что $D(u, v) = 1$. Тогда $u = v$, $\psi(u) = \psi(v)$, $D'(\psi(u), \psi(v)) = 1$. Если же $u, v \in B$ таковы, что $D(u, v) = 0$. Тогда $u \neq v$, $\psi(u) \neq \psi(v)$, $D'(\psi(u), \psi(v)) = 0$. Итак, при любых $u, v \in B$ $D(u, v) = D'(\psi(u), \psi(v))$. Мы доказали, что предикат D ψ -изоморфен предикату D' . Теорема доказана.

Из теорем 6 и 7 непосредственно следует

Теорема 8. Для того чтобы эквивалентность E была φ -изоморфна эквивалентности E' , необходимо и достаточно, чтобы функция F была (φ, ψ) -изоморфна функции F' .

Содержательно теоремы 6-8 означают, что поведение $E(x, y) = D(F(x), F(y))$ идентифицируемой системы E полностью (т.е. с точностью до обозначений) определяется действием идентифицируемого объекта F , и наоборот. Кроме того, действие нуля-органа $D(u, v)$ полностью определяется как поведением системы E , так и действием объекта F . Все сказанное свидетельствует о том, что компараторный метод является эффективным средством идентификации объекта F , внутреннего состояния $u = F(x)$ системы E и нуля-органа $D(u, v)$. Например, при изучении механизма цветового зрения человека исследователь объективно наблюдает двоичные ответы испытуемого, сравнивающего цвета световых излучений, и только из этих ответов получает исчерпывающие описания: 1) субъективного цвета; 2) преобразования физических световых излучений в психологические цвета; 3) способа субъективного анализа цветов. Верно и обратное утверждение: если исследователь уже нашел вид преобразования $u = F(x)$ светового излучения x в цвет u , то он может заранее вычислить ответ $t = E(x, y)$ испытуемого, сравнивающего цвета произвольных световых излучений x и y .

Имеется некоторое неравноправие между внешним поведением E испытуемого и соответствующим ему внутренним информационным процессом F , поскольку сильной изоморфности предикатов E и E' соответствует слабая изоморфность функций F и F' . Следующее утверждение устанавливает условие, при котором предикат E и функция F становятся в этом смысле равноправными.

Теорема 9. Для того чтобы φ -изоморфность любых эквивалентностей E и E' на $A \times A$ и $A' \times A'$ была равносильна φ -изоморфности их

характеристических функций $F: A \rightarrow B$, $F: A' \rightarrow B'$, необходимо и достаточно, чтобы множества A и B , A' и B' не пересекались.

Доказательство. Необходимость. Для доказательства достаточно привести пример множеств A , B и B' , таких что $A \cap B = \emptyset$, а также ϕ -изоморфных эквивалентностей E и E' , заданных на $A \times A$, характеристические функции которых не являются ϕ -изоморфными. Положим $A = \{a_1, a_2, a_3\}$, $B = \{a_1, a_2\}$, $B' = \{a_1, a_3\}$. Эквивалентность $E = E'$ определим разбиением множества M : $\{\{a_1, a_2\}, \{a_3\}\}$. Функцию $F: A \rightarrow B$ определим следующим образом: $F(a_1) = F(a_2) = a_1$, $F(a_3) = a_2$. Функцию $F: A' \rightarrow B'$ определим так: $F'(a_1) = F'(a_2) = a_1$, $F'(a_3) = a_2$. Очевидно, E и E' , будучи равными, сильно изоморфны. Тем не менее, сильного изоморфизма для функций F и F' не существует, так как в противном случае такой изоморфизм должен отображать множество $\{a_1, a_2\}$ на себя и в то же время множество B на B' , что невозможно. **Достаточность** непосредственно следует из теорем 2 и 6. Теорема доказана.

Теорема 9 содержит в себе рекомендацию инженеру, создающему искусственные анализаторы предметов для технических систем. Если требуется, чтобы предметы и их образы можно было измерять в одной и той же системе физических единиц и при этом всегда получать действие системы в виде предиката эквивалентности, то нужно обеспечить, чтобы множество всех анализируемых предметов и множество их образов не пересекались. Например, при создании системы искусственного цветового зрения нужно сделать так, чтобы цвета, как физические объекты, были представлены не световыми излучениями, а какими-то физическими процессами, например, магнитными полями.

Поступила в редколлегию 05.10.98

Е.М. РОНИН, В.И.РУБЛИНЕЦКИЙ, В.А. ЧИКИНА

ПРОГРАММА СОЗДАНИЯ ЧАСТОТНОГО СЛОВАРЯ СЛОВ И ВЫРАЖЕНИЙ ДЛЯ РУССКОГО ЯЗЫКА

Улучшение качества компьютеров и сканнеров, а также увеличение количества текстов в электронной форме позволяют решать многие задачи прикладной лингвистики полностью на компьютере или преимущественно на компьютере с малым участием человека. В частности, на компьютере удастся, с большей или меньшей точностью, считать частоты слов в текстах на естественном языке (в ЕЯ-текстах). Какие полезные прикладные задачи можно при этом решить, описано в работе [2]. Сегодня те исследования, которые велись на протяжении долгих лет огромными научными институтами, могут быть выполнены в течение нескольких часов в небольшой исследовательской лаборатории. Это ни в коей мере не обесценивает труды, ставшие классикой лингвистики [3,5], однако показывает, как далеко ушли вперед методы автоматизированной обработки информации.

В данной работе подробно описан один из подходов к автоматизированному (т.е. не чисто автоматическому, а требующему участия человека) подсчету частот слов. Этот подход можно использовать для составления частотных общих и специальных словарей.

Неискушенному читателю может показаться, что задача подсчета частот слов тривиальна. Поясним, что это не так, на материале русского языка, который рассматривается в данной работе. Слово удобно понимать как множество своих словоформ. Возьмем для примера слово

$КОПЬЕ = \{\text{копье, копьа, копыю, ..., копьях}\}.$

В ЕЯ-тексте используются словоформы, и трудность состоит в том, что их нужно отождествить с соответствующим словом, так как надо подсчитать частоты слов, а не словоформ. Простой способ подсчета частот состоит в разработке формальных правил преобразования произвольной словоформы в каноническую: например, инфинитив для глагола, именительный падеж единственного числа для существительного и т.п. Если, например, вычисляя частоту слова *КОПЬЕ*, описать основу в виде *коп-*, то возникает опасность отнести ко множеству *КОПЬЕ* словоформу *копать*; если описать основу в виде *копь-*, то появляется опасность включить «чужую» словоформу *копь* и не узнать «свою» словоформу *копий*. А что делать со словоформой *копий* из множества *КОПИЯ*?

Преодолев трудности подсчета частот, мы обнаружим, что слова, встречаемые в научно-технической литературе, можно разбить на несколько

категорий (по убыванию частоты встречаемости): слова-антипризнаки [4] – слова, которые встречаются в любом тексте на данном языке и занимают верхние строки частотной таблицы (предлоги, союзы и некоторые местоимения); вводные слова, не несущие смысловой нагрузки; общеупотребительные слова, встречающиеся в литературных текстах и не имеющие научно-терминологического значения; общенаучные термины, встречающиеся в научно-технических текстах разнообразной направленности, и, наконец, узкоспециальные термины, характерные для данной конкретной предметной области. Из этого множества, полученного из анализа специальных текстов, составляются глоссарии для специальных словарей.

При создании алгоритмов, предназначенных для обработки информации ЕЯ-текстов, необходимо рассматривать несколько основных граней данной задачи. Наиболее важными являются следующие подзадачи:

1) Выбор способа хранения словарной и грамматической информации. Этот этап особенно важен для систем, работа которых базируется на поиске информации в словаре. Выбор способа включает в себя разработку модели морфологического деления слова (в современных системах применяются следующие модели деления: ОСНОВА-ОКОНЧАНИЕ, ОСНОВА-[СУФФИКС]-ОКОНЧАНИЕ, реже [ПРЕФИКС]-ОСНОВА-[СУФФИКС]-ОКОНЧАНИЕ) [1]; выбор и создание системы хранения информации на жестком диске и в оперативной памяти (выбор средств реализации хранения грамматической информации очень широк – ассоциативные базы данных (БД), иерархические, реляционные, а также способы хранения информации в оперативной памяти – различные формы деревьев и списков) [1].

2) После создания модели хранения информации логично выбрать метод ее обработки. В настоящее время обычно применяется следующий метод работы с грамматической информацией: ЗАПРОС НА ЧТЕНИЕ → ВЫБОРКА ИНФОРМАЦИИ С ЖЕСТКОГО ДИСКА → ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ В ПАМЯТИ → РАБОТА С ИНФОРМАЦИЕЙ → СБРОС РЕЗУЛЬТАТА НА ЖЕСТКИЙ ДИСК. Однако в связи с увеличением объемов оперативной памяти и вычислительной мощности компьютерного оборудования, а также благодаря применению в основных операционных системах технологии виртуальной памяти на сегодняшний день более перспективной является следующий метод обработки информации: ЗАПРОС НА СЧИТЫВАНИЕ В ОПЕРАТИВНУЮ ПАМЯТЬ ИНФОРМАЦИИ → СЕАНС РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ → ЗАПИСЬ ИЗМЕНЕНИЙ.

3) В результате выбора метода обработки грамматической информации открывается возможность выбора метода анализа поступающей ЕЯ-информации. Для практического применения зачастую используют методы, не требующие анализа контекста. Это словарный метод – каждое

слово, которое система способна обработать, находится в БД программы, где ему приписана соответствующая грамматическая и семантическая информация. Словарный метод позволяет с высокой точностью идентифицировать словоформу, однако требует большого объема оперативной памяти и повышенных затрат труда при заполнении БД.

4) Есть еще один метод, применимый к языкам со сложным словоизменением, – статистический, когда на основе обработки большого массива текстовой информации строится статистическая модель применения определенных слов и словосочетаний. В случае применения этого метода программа настраивается на текст определенной области знаний. Статистический метод отличается высокой ресурсоемкостью. Указанные методы имеют свои достоинства и недостатки и обычно используются комбинированно [2].

5) Выбор способа пополнения словаря – чрезвычайно важный этап в разработке алгоритма. Три базовых способа могут быть применены по отдельности либо комплексно: пополнение вручную, когда пользователь сам вводит новую информацию; автоматизированное пополнение – когда программа предлагает пользователю определенные рекомендации по вводу информации или исправляет ошибки ввода; и, наконец, автоматическое пополнение (обычно с постредакцией) – когда программа должна сама выделить из определенного источника информацию и поместить ее в информационную базу.

6) Следующим фактором, который необходимо учесть при разработке программы, является способность алгоритма к сбору и последующему использованию словарно-грамматической информации. С этой целью обычно применяются методы анализа текста в несколько проходов с последовательным уточнением информации.

В качестве среды реализации программы был выбран компилятор языка Object Pascal - Borland Delphi версии 3.02. Этот компилятор выбран в связи с тем, что он содержит в своем составе гибкие и мощные средства работы с БД, создает 32-битные приложения, работающие в среде Windows и не требующие дополнительных библиотек исполнения. Все указанные факторы наряду с тем, что язык Object Pascal предоставляет программисту широкие возможности в реализации алгоритмов, послужили причиной выбора именно этого программного продукта. Для хранения информации планируется применить реляционную БД типа Paradox. В связи с тем, что язык выполнения запросов ANSI SQL предоставляет широкие возможности выполнения различных сложных операций над отношениями, необходимо воспользоваться им для работы с БД. В результате анализа проблемной области и перечня задач, которые необходимо решить, был сделан вывод о необходимости применения библиотеки компонентов RX Library. RX Library - это библиотека

компонент и функций для Borland Delphi и Borland C++ Builder, программный продукт, распространяемый бесплатно.

Русский язык является одним из самых сложных в плане моделирования его словоизменительного механизма – изменение основы внутри парадигмы и наличие множества омонимов [3] затрудняют создание аналитической модели словоизменения.

Обычно для моделирования словоизменительного механизма слова применяют следующую схему [1]:

ОСНОВА1[ОСНОВА2 (ПОЗИЦИИ)] - НАБОР ОКОНЧАНИЙ

Здесь ОСНОВА1 – основа слова (префикс+корень+суффикс); ОСНОВА2 – основа слова в случае ее изменения (например: Корень_ь/Корень_я); ПОЗИЦИИ – список номеров в парадигме, где ОСНОВА1 подменяется ОСНОВА2; НАБОР ОКОНЧАНИЙ – пронумерованный список окончаний.

Пример такого представления показан в табл. 1.

Таблица 1. Пример табличного представления парадигмы словоизменения

ОСНОВА1	ОСНОВА2	ПОЗИЦИИ	НОМЕР ОКОНЧАНИЯ	ОКОНЧАНИЕ	Комментарий
КОРЕН	КОРН		1	Ь	Именит. Ед.
		X	2	Я	Род. Ед.
		X	3	Ю	Дат. Ед.
			4	Ь	Винит. Ед.
		X	5	ЕМ	Творит. Ед.
		X	6	Е	Предл. Ед.
		X	7	И	Именит. Мн.
		X	8	ЕЙ	Род. Мн.
		X	9	ЯМ	Дат. Мн.
		X	10	И	Винит. Мн.
		X	11	ЯМИ	Творит. Мн.
		X	12	ЯХ	Предл. Мн.

К сожалению, такое представление парадигмы словоизменения имеет определенные недостатки – нет возможности обрабатывать слова, имеющие больше двух основ (например, общепотребительные глаголы *быть*, *ходить*). В таких случаях обычно прибегают к ряду определенных искусственных приемов (деление парадигмы на несколько частей, разбиение по грамматическому признаку). Список окончаний во многих случаях жестко задан и нет возможности вводить и хранить многовариантные слова (как, например: на *шелк_у*, о *шелк_е* – два окончания предложного падежа единственного числа).

Для снятия этих ограничений есть возможность применить усовершенствованную схему хранения словарной информации:

СПИСОК_ОСНОВ – КОД_СООТВЕТСТВИЯ - НАБОР_ОКОНЧАНИЙ

СПИСОК_ОСНОВ – это все основы, существующие в разных словоформах этого слова; КОД_СООТВЕТСТВИЯ – число, указывающее, какая из основ используется для этого окончания; НАБОР_ОКОНЧАНИЙ – пронумерованный список окончаний. Пример такого представления показан в табл. 2.

Таблица 2. Пример усовершенствованного табличного представления парадигмы

СПИСОК_ОСНОВ	КОД_СООТВЕТСТВИЯ	НОМЕР_ОКОНЧАНИЯ	ОКОНЧАНИЕ	Комментарий
КОРЕН	1	1	Ь	Именит. Ед.
	2	2	Я	Род. Ед.
	2	3	Ю	Дат. Ед.
	1	4	Ь	Винит. Ед.
	2	5	ЕМ	Творит. Ед.
	2	6	Е	Предл. Ед.
КОРН	2	7	И	Именит. Мн.
	2	8	ЕЙ	Род. Мн.
	2	9	ЯМ	Дат. Мн.
	2	10	И	Винит. Мн.
	2	11	ЯМИ	Творит. Мн.
	2	12	ЯХ	Предл. Мн.

Представленная схема применяется в модели хранения данных, приводимой в этой работе.

Алгоритм дополнения слов в базу данных

(Исходные данные:

порог вхождения – число, кодирующее минимальный уровень сходства парадигмы словоизменения с собранными данными,
осмысленный текст на русском языке,
база данных со списком парадигм языка и слов.

Результаты:

слова в базе данных):

1. Построить список предполагаемых основ слов и наборов их окончаний.

1.1. Проверить, нет ли обрабатываемого слова в словаре БД. Если есть, то перейти к пункту 2. Иначе - к 1.2.

1.2. Попытаться отделить наиболее длинное окончание из списка допустимых окончаний, если удачно – перейти к пункту 1.4. Иначе перейти к 1.3.

1.3. Взять более короткое окончание и перейти к 1.1. Если список окончаний пуст, завершить построение списка предполагаемых основ для данного слова и перейти к следующему слову. Если текст просмотрен, перейти к пункту 3.

1.4. Если в списке нет отделенной основы, то 1.5. Иначе 1.6.

1.5. Внести в список предполагаемых основ часть слова, оставшуюся после выделения окончания. Связать с ней это окончание. Присвоить частоту 1. Перейти к 1.1.

1.6. Добавить в список окончаний для данной основы, инкрементировать частотный счетчик основы. Перейти к 1.1.

2. Провести эвристический анализ грамматических признаков.

2.1. Поиск обрабатываемого слова в списке слов-признаков. Если найдено – 2.4.

2.2. Поиск обрабатываемого слова в списке местоимений. Если найдено – 2.4, иначе 2.3.

2.3. Определение связки прилагательное-существительное. В случае удачи – 2.4, иначе завершение без информативного результата.

2.4. Передача информации в пункт 3 для обработки.

3. Поиск и определение наиболее подходящей парадигмы словоизменения.

3.1 Подсчет соответствий для нового слова в окончаниях для всех парадигм в БД.

3.2. Коррекция согласно пункту 2.

3.3. Если слово удовлетворяет по количеству корректных окончаний парадигме N (превышен порог вхождения), то 3.4, иначе переход к 3.1.

3.4. Дополнение слова в БД, переход к 3.1.

Эвристический анализ слов

К сожалению, даже в системах, пользующихся словарными методами, из-за развитой омонимии русского языка нет возможности четко определить грамматические признаки и на их основе отнести слово к определенному частотному типу. В системах, применяющих аналитические и статистические методы, эта проблема стоит еще острее. Для уточнения полученной предположительной грамматической информации применяются эвристические алгоритмы.

1) Связка ПРЕДЛОГ–ПРИЛАГАТЕЛЬНОЕ или ПРЕДЛОГ–СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ (Примеры: *в доме, на зеленом дереве*). Опознавая неизменяемый предлог, можно определить примерные грамматические признаки. Однако здесь важно учитывать, что некоторые предлоги могут соответствовать нескольким падежам (*в доме* – предложный падеж или *в дом* - винительный).

2) Связка МЕСТОИМЕНИЕ–ПРИЛАГАТЕЛЬНОЕ или МЕСТОИМЕНИЕ–СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ (Пример: *этот дом, те деревья*). В связи с тем, что в русском языке сравнительно мало местоимений, а их вес в частотной таблице велик, есть смысл хранить все словоформы местоимений в БД словаря. Этим, кроме того, обеспечивается возможность поиска связей местоимений и имен.

3) Для связки ПРИЛАГАТЕЛЬНОЕ–СУЩЕСТВИТЕЛЬНОЕ есть возможность выделить грамматические признаки по характерным окончаниям прилагательных и присвоить эти признаки существительным.

Алгоритм построения списка терминов

(Исходные данные:

текст на русском языке,

база данных со списком парадигм слов языка.

Результаты:

Файл со словами-терминами):

Схема работы алгоритма представлена на рисунке.



Последовательность обработки текста в режиме поиска терминов

1. Фаза 1.

1.1. Применить для построения списка слов текста алгоритм дополнения слов в БД (см. выше).

2. Фаза 2.

2.1. Взять новое слово из списка, полученного в 1, проверить, нет ли его в списке слов-антипризнаков. Если слово не содержится в списке, перейти к 2.2, иначе снова 2.1.

2.2. Если слово опознано алгоритмом из 1 – заменить на каноническую форму, поместить в список. Иначе поместить в список в данной форме. Перейти к 2.3.

2.3. Дополнить список следования (для поиска словосочетаний). Вернуться к 2.1, если весь текст еще не обработан. Иначе перейти к 3.

3. Фаза 3.

3.1. Взять слово из списка 2. Перейти к 3.2.

3.2. Проверить, не превышает ли частота данных слов заданную, если так – 3.3, иначе 3.1.

3.3. Проверить список следования. Если следующее слово также проходит частотную проверку, добавить словосочетание в файл результата, иначе добавить слово. Перейти к 3.4.

3.4. Проверить, не обработан ли весь текст. Если да, то завершение, иначе 3.1.

Структуры данных

В связи с тем, что алгоритм предназначен для хранения словарно-грамматической информации в виде реляционной БД, приведем схемы отношений БД (табл. 3-8).

Таблица 3. Схема отношения базы данных СВЯЗИ

Номер поля	Атрибут	Размерность	Примечание
1	Счетчик COUNT	4-байтовое число	Используется как основной ключ
2	Ссылка на отношение ОСНОВЫ PTR2BASEWRDS	4-байтовое число	
3	Код-счетчик слов ID	4-байтовое число	
4	Ссылка на отношение ПАРАДИГМЫ PTR2PARADIGMA	2-байтовое число	
5	Вектор-шаблон покрытия парадигмы № 1 POLYPTR1	4-байтовое число	
	Вектор-шаблон покрытия парадигмы № 2 POLYPTR2	4-байтовое число	
6	Код части речи PART	2-байтовое число	
7	Признак автоматического пополнения AUTOADD	Логическая величина	
8	Код типа слова TYPEWORD	2-байтовое число	

Отношение СВЯЗИ содержит грамматическую информацию о слове (к какой части речи относится, тип слова и ряд служебных характеристик), ссылки на список основ и парадигму словоизменения.

Таблица 4. Схема отношения базы данных ОСНОВЫ

Номер поля	Атрибут	Размерность	Примечание
1	Номер основы COUNT	4-байтовое число	Используется как основной ключ
2	Основа слова BASEWORD	32 символа	Нет повторений

Отношение ОСНОВЫ представляет собой список основ слов, находящихся в БД, с уникальными индексными номерами.

Таблица 5. Схема отношения базы данных ПАРАДИГМЫ

Номер поля	Атрибут	Размерность	Примечание
1	Счетчик COUNT	4-байтовое число	Используется как основной ключ
2	Номер парадигмы	2-байтовое число	
3	Код грамматических признаков CYPHER	4-байтовое число	
4	Порядок следования внутри парадигмы ORDER	2-байтовое число	
5	Ссылка на отношение ОКОНЧАНИЯ PTR2END	4-байтовое число	

Отношение ПАРАДИГМЫ содержит комплекс парадигм словоизменения русского языка. В табл.6 в закодированном виде хранятся грамматические признаки словоформы.

Таблица 6. Схема отношения базы данных ОКОНЧАНИЯ

Номер поля	Атрибут	Размерность	Примечание
1	Номер окончания COUNT	2-байтовое число	Используется как основной ключ
2	Окончание ENDING	10 символов	Нет повторений

Отношение ОКОНЧАНИЯ представляет собой пронумерованный список окончаний, обрабатываемых алгоритмом.

Таблица 7. Схема отношения базы данных СЛОВА-ПРИЗНАКИ

Номер поля	Атрибут	Размерность	Примечание
1	Слово-признак WORD_SIGN	25 символов	Используется как основной ключ
2	Признак последствия BEFORE	Логическая величина	
3	Ссылка на отношение КОД ПРИЗНАКОВ PTR2DECYPHER	2-байтовое число	

Отношение СЛОВА-ПРИЗНАКИ содержит список неизменяющихся слов, использующихся для эвристического анализа принадлежности к определенной парадигме.

Таблица 8. Схема отношения базы данных КОД ПРИЗНАКОВ

Номер поля	Атрибут	Размерность	Примечание
1	Счетчик COUNT	4-байтовое число	Используется как основной ключ
2	Номер толкования TARGET	2-байтовое число	
3	Код части речи PART	2-байтовое число	
4	Код толкования CYPHER	4-байтовое число	

Отношение КОД ПРИЗНАКОВ содержит расшифровку кодов признаков, а также информацию для эвристического алгоритма определения слов.

Список литературы: 1. Бондаренко М.Ф., Осыка А.Ф. Автоматическая обработка информации на естественном языке: Учеб. пособие. К.: УМК ВО, 1991. 144 с. 2. Бондаренко М.Ф., Рублинецкий В.И., Чикина В.А. О прикладных задачах машинной лингвистики, решаемых подсчетом частот слов и выражений // Проблемы бионики. 1999. Вып. 50. С. 12-17. 3. Зализняк А.А. Грамматический словарь русского языка: Словоизменение. М.: Рус. яз., 1980. 880 с. 4. Лаптева М.В., Вайнер В.Г. Метод автоматизированного составления глоссария/ Экономико-экологическое моделирование. Учеб. пособие/ Под ред. В.Г. Вайнера. Харьков: «Бизнес-информ». 1997. С. 334-346. 5. Частотный словарь русского языка / Под ред. Л.Н. Засориной. М.: Русский язык. 1977. 936с.

Поступила в редколлегию 05.06.99

Е.В. ЖУРАВОК, В.А. ЧИКИНА, Ю.П. ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО

СХЕМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИИ РУССКОГО ЯЗЫКА НА ПРИМЕРЕ ИМЕН ПРИЛАГАТЕЛЬНЫХ

Цель исследования состоит в том, чтобы изучить и математически описать связи между переменными, выявляющиеся в русском языке при словоизменении полных непряжательных имен прилагательных. Но откуда взялись эти переменные? И где гарантия, что выбраны именно те переменные, которые необходимы для решения поставленной задачи? Все ли нужные переменные введены, нет ли среди них лишних? Фактически их выбор в статье основывается лишь на языковой интуиции исследователей, он находится как бы за рамками разрабатываемой теории языка. Однако рано или поздно рамки эти будут раздвинуты, и тогда объектом формализации станет сама языковая интуиция, определяя выбор исходных переменных. Тем не менее, даже находясь в рамках узкой постановки проблемы, исследователю не всегда удастся переложить работу по выбору исходных переменных на языковую интуицию. Это случается, когда интуиция носителя языка отказывает. Выражается это в том, что исследователь не может уверенно выбрать единственно верный способ введения переменных из нескольких возможных вариантов. В таких случаях языковая интуиция нуждается в помощи. Представляется, что такую помощь может оказать формальный анализ языкового материала.

Рассмотрим один из таких сомнительных случаев. Буквы первой части окончаний полных непряжательных имен были расставлены по местам следующим образом: именно способ расстановки исследуемых объектов по местам определяет выбор переменных, в данном случае - переменных x_2 и x_3 . Переменные - это просто имена мест, на которых находятся объекты. Когда правая часть окончания двухбуквенная, то ее левая часть ставится на место x_2 , правая - на место x_3 . Если же правая часть окончания однобуквенная, то единственная ее буква становится на место x_2 . На место x_3 не ставится никакой буквы, при этом условно считаем, что переменная x_3 принимает значение "знак пробел _". Следует признать, что выбор места x_2 для буквы правой части окончания в случае, когда она в ней единственная, не опирается на ясное и несокрушимое свидетельство языковой интуиции. Последняя не будет сильно противиться, если эту букву в некоторых окончаниях переставить с места x_2 на место x_3 . В самом деле, в окончаниях "ая, яя, ую, ою, ею, ое, ее" правая буква обозначает не один, а два звука. Первый из них - звук "й", а второй - гласный: буква я звучит как "йа", ю - как "йу", е - как "йэ". Поэтому буквы я, ю, е в равной мере представляют как второй, так и

третий звуки окончания. В этих условиях вариант размещения букв я, ю, е на месте x_3 воспринимается как вполне равноправный с вариантом их размещения на месте x_2 . Когда же речь идет об окончаниях ой, ей, ий, ым, им, ых, их, то интуиция явно склоняется к размещению правых букв й, м, х окончания на место x_2 : за звуками "й", "м" в окончаниях ое, ими и др. Следует еще гласный звук, буква же х, как гласная, тоже тяготеет к месту x_2 , на котором размещаются все остальные согласные буквы.

Опишем математически отношение $x_2' P_2' x_3'$ между второй x_2' и третьей x_3' буквами окончаний полных непряжательных имен прилагательных. Переменные x_2' и x_3' помечены штрихом, поскольку они отличаются от прежних переменных x_2 и x_3 . Переменные x_2' и x_3' имеют области:

$$x_2' \vee x_2' \vee x_2' \vee x_2' \vee x_2' \vee x_2', \quad (1)$$

$$x_3' \vee x_3' \vee x_3' \vee x_3' \vee x_3' \vee x_3' \vee x_3'. \quad (2)$$

При переходе от переменных x_2 и x_3 к переменным x_2' , x_3' буквы я, ю, е передвинулись со второго места на третье, а на втором месте дополнительно предусмотрена простановка знака пробела. Отношение P_2' задано таблицей. Как только что говорилось, языковая интуиция исследователя бессильна сделать уверенный выбор между таблицами и данными 3[3].

$x_2' \backslash x_3'$	—	у	и	о	я	ю	е
й	1						
х	1						
м	1	1	1				
з				1			
—					1	1	1

$$P_2'(x_2', x_3')$$

Далее мы заменяем работу интуиции математическим анализом языкового материала и пытаемся сделать выбор между предикатами P_2 и P_2' путем сравнения сложности реализации отношений, соответствующих этим предикатам. Представляется очевидным, что природа должна предпочесть то из отношений, которое требует от мозга человека меньших затрат при его реализации. Такое отношение будет предпочтительным также и для машинной реализации в системе автоматической обработки русских текстов.

Производим декомпозицию предиката P_2' на функции $u_2' = f_2'(x_2')$, $v_2' = g_2'(x_3')$ и предикат $Q_2'(u_2', v_2')$ тем же способом, которым была

произведена декомпозиция предиката P_2 . В результате получаем следующую систему уравнений:

$$u_2^{\bar{u}} \sim x_2^{\bar{u}} \vee x_2^{\bar{x}}, \quad (3)$$

$$v_2^y \sim x_3^y \vee x_3^u, \quad (4)$$

$$x_2^{\bar{z}} \sim x_3^{\bar{z}} \vee x_3^{\bar{y}} \vee x_3^{\bar{e}}, \quad (5)$$

$$u_2^{\bar{u}} \supset x_3^{\bar{z}}, \quad (6)$$

$$x_2^{\bar{m}} \supset x_3^{\bar{z}} \vee v_2^y, \quad (7)$$

$$x_3^{\bar{z}} \supset u_2^{\bar{u}} \vee x_2^{\bar{m}}, \quad (8)$$

$$v_2^y \supset x_2^{\bar{m}}, \quad (9)$$

$$x_2^{\bar{z}} \sim x_3^{\bar{z}}. \quad (10)$$

Соответствующая этим уравнениям схема, реализующая отношение $x_2 P_2 x_3$, представлена на рис. 1. Сравниваем сложность схем, реализующих отношения P_2 и P_2' . Схемы оказываются равноценными: обе содержат по 14 входов элементов первого и второго рода. Любопытно, что даже отдельный подсчет входов элементов первого и второго рода не отдает предпочтения ни одной из схем: в обоих случаях получаем соответственно 8 и 6 входов. Неудивительно, что языковая интуиция исследователя затрудняется выбирать из двух вариантов лучший. В дальнейшем мы будем ориентироваться на первоначальный вариант P_2 с переменными x_2, x_3 .

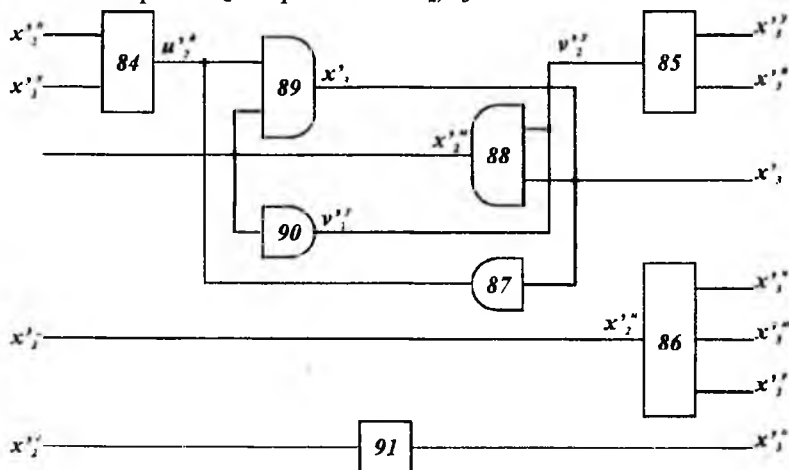


Рис. 1

Изучим теперь связь окончания $R_1(x_1, x_2, x_3)$ с признаком ударности x_4 . Предикат, соответствующий этой связи, обозначим символом $R_3(x_1, x_2, x_3, x_4)$. Содержательно связь R_3 характеризуется следующим образом: окончания ая, ую, ое, ой, ом, ою, ому, ого, ых, ым, ыми, ые, ый, их, им, ими, они бывают как ударными, так и безударными; окончания яя, юю, ее, ей, ею, ему, его, ый, ий - всегда безударны. Отсюда легко извлекается правило: если первая буква окончания совпадает с я, ю, е или же первые две - с ый или ий, то окончание безударное. Формально это правило записывается в виде:

$$x_1^a \vee x_1^o \vee x_1^e \vee x_1^y \vee x_1^u \vee x_1^u \vee x_1^o \vee x_1^o \supset x_4^b. \quad (11)$$

Предикат (11) обозначим через $R_4(x_1, x_2, x_4)$.

Проблема заключается в следующем: будет ли описание (11) полным, иными словами, совпадает ли предикат R_3 с произведением предикатов R_4 и R_1 ? Оказывается, такое совпадение имеет место. Действительно, предикат R_3 записывается в виде:

$$\begin{aligned} R_1(x_1, x_2, x_3, x_4) = & (x_1^a x_2^a x_3^a \vee x_1^y x_2^y x_3^y \vee x_1^o x_2^o x_3^o \vee x_1^u x_2^u x_3^u \vee x_1^o x_2^o x_3^o \vee \\ & \vee x_1^o x_2^o x_3^u \vee x_1^o x_2^u x_3^o \vee x_1^y x_2^y x_3^o \vee x_1^u x_2^u x_3^u \vee x_1^u x_2^u x_3^o \vee \\ & \vee x_1^u x_2^o x_3^o \vee x_1^u x_2^o x_3^u \vee x_1^u x_2^u x_3^o \vee x_1^u x_2^u x_3^u) \wedge (x_4^y \vee x_4^b) \vee (x_1^a x_2^a x_3^a \vee \\ & \vee x_1^o x_2^o x_3^o \vee x_1^y x_2^y x_3^y \vee x_1^u x_2^u x_3^u \vee x_1^o x_2^o x_3^u \vee x_1^o x_2^u x_3^o \vee x_1^y x_2^y x_3^o \vee x_1^u x_2^u x_3^u \vee \\ & \vee x_1^u x_2^o x_3^o \vee x_1^u x_2^o x_3^u \vee x_1^u x_2^u x_3^o \vee x_1^u x_2^u x_3^u) \wedge x_4^b. \end{aligned} \quad (12)$$

Произведение предикатов R_4 и R_1 равно:

$$\begin{aligned} R_4(x_1, x_2, x_4) R_1(x_1, x_2, x_3) = & (x_1^a \vee x_1^o \vee x_1^y \vee x_1^u \vee x_2^a \supset x_4^b) R_1(x_1, x_2, x_3) = \\ = & (x_1^a x_1^o x_1^y x_1^u \vee x_4^b) R_1(x_1, x_2, x_3) = (x_1^a x_1^o x_1^y x_1^u (x_4^y \vee x_4^b) \vee x_4^b) R_1(x_1, x_2, x_3). \end{aligned}$$

Легко убедиться, что после подстановки R_1 , раскрытия скобок и упрощений получаем выражение, совпадающее с правой частью равенства (12). Таким образом, предикат R_3 совпадает с произведением предикатов R_4 и R_1 , а это означает, что описание (11) связи окончания с его ударностью полное. Следовательно, схема, реализующая отношение $R_4(x_1, x_2, x_4)=1$, будучи присоединена к схеме, реализующей отношение $R_1(x_1, x_2, x_3)=1$ (рис.2, а), воспроизведет отношение $R_3(x_1, x_2, x_3, x_4)=1$, задающее окончание вместе с признаком его ударности (рис. 2, б).

Чтобы построить схему, реализующую отношение R_4 , придется ввести элемент четвертого рода (рис.3), который реализует отношение

$$x_{i1}^{a11} \vee x_{i2}^{a12} \vee \dots \vee x_{im}^{aim} \supset y^b. \quad (13)$$

Если поступил сигнал $x_{ik}^{aik} = 1 (k \in \{2, \dots, n\})$, то элемент формирует ответный сигнал $y_b=1$; если $y_b=0$, то $x_{i1}^{a11} = x_{i2}^{a12} = \dots = x_{in}^{a1n} = 0$. Схема, реализующая отношение R_4 , изображена на рис.4.

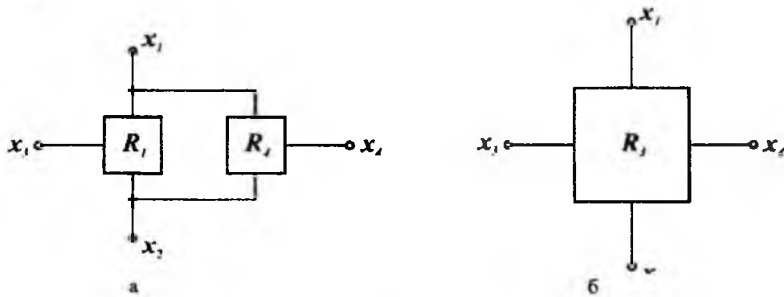


Рис. 2

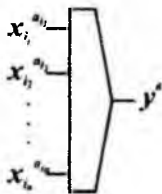


Рис. 3

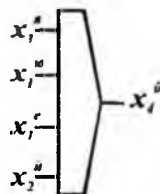


Рис.4

Список литературы: 1. Шабанов - Кушнарченко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. Х.: Выща шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. 144с. 2. Зализняк А.А. Грамматический словарь русского языка. М.: Русский язык, 1977. 878 с. 3. Бондаренко М.Ф., Чикина В.А. О методе математического описания морфологических отношений и их схемной реализации // Проблемы бионики. 1998. Вып.48.С. 3-11.

Поступила в редколлегию 01.06.99

С.И. ЛАПТА, Г.Е. ЛАПТА

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА АУТОРЕГУЛЯЦИИ
УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ ЧЕЛОВЕКА**

Математическому моделированию механизма ауторегуляции уровня глюкозы в крови человека посвящено большое количество публикаций, например [1-3]. Актуальность данной проблемы обусловлена большим значением этой физиологической системы в жизнеобеспечении организма человека, а также часто возникающими её патологиями, не поддающимися лечению в обычном смысле и допускающими лишь их коррекцию. Применяемые для такой коррекции уровня глюкозы в крови без частого его измерения компактные инсулиновые насосы-дозаторы требуют либо обоснованных рекомендаций по режиму инъекций, выполняемых вручную самим больным, либо при автоматизации этой процедуры - управляющего микропроцессора. Оба варианта предусматривают наличие достаточно эффективной математической модели системы ауторегуляции уровня глюкозы в крови, индивидуализированной для конкретного пациента. При всех достижениях науки в данном направлении существующие математические модели системы ещё далеки от совершенства. Проблема их улучшения, повышения физиологической обоснованности ввиду ответственности за возможные необратимые последствия их недостатков для здоровья больного остаётся всё ещё актуальной.

Несмотря на множественность обратных связей и переменных, в рассматриваемой системе регуляции исключительное место среди них занимают лишь две: сам уровень глюкозы и концентрация инсулина. Поэтому уравнения модели будем записывать лишь относительно этих переменных, причем для их номинальных значений, а не их отклонений от базальных.

В литературе принято концентрацию глюкозы в крови измерять в мг %, т.е. количеством мг глюкозы на 100 мл крови, а концентрацию инсулина - в мкЕд/мл, т.е. числом мкЕд инсулина (1 Ед инсулина равна 0,04 мг) на 1 мл крови. Для единообразия все величины, входящие в уравнения, будем относить к 100 мл крови, полагая при пересчёте полный объём крови равным пяти литрам.

Согласно физиологическим представлениям полная скорость изменения концентрации глюкозы $g(t)$ и инсулина $i(t)$ в крови определяются формулами

$$\begin{aligned} \frac{dg}{dt} &= -\alpha i(t)g(t) + \beta Es(M - g(t)) - A - BEs(i(t) - i^*) - \gamma Es(g(t) - g^*) + f(t), \\ \frac{di}{dt} &= -\zeta i(t) + kg(t) + \varphi(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь первый член правой части первого уравнения соответствует гликогенезу - процессу утилизации глюкозы в гликоген, который согласно [4] определяется произведением концентраций глюкозы и инсулина. Второй член описывает процессы производства глюкозы. Это в основном гликогенолиз - обратный процесс расщепления гликогена с выделением глюкозы в кровь, определяемый контррегуляторными гормонами: глюкагоном (в печени) и адреналином и норадреналином (в мышцах). При длительных перерывах в приёме пищи (более 12 часов) существенным становится также глюконеогенез - процесс образования глюкозы из неуглеводных предшественников, контролируемый гормонами гипофиза, глюкокортикоидами, катехоламинами и тиреоидными гормонами. Действие контррегуляторных гормонов в гликогенолизе и глюконеогенезе затруднительно индивидуализировать, поэтому будем считать, что управляющим сигналом в каждом из этих процессов является сам уровень глюкозы, вернее, отклонение его от предельной пороговой концентрации процесса, при превышении которой данный процесс, как известно [4], прекращается. Для упрощения положим также, что пороговые значения концентрации глюкозы в крови в обоих процессах одинаковы. Пороговый характер процесса удобно описывать функцией

$$Es(z) = ze(z), \quad (2)$$

где $e(z) = \begin{cases} 1, z \geq 0, \\ 0, z < 0 \end{cases}$ - единичная функция Хевисайда. Следующие два

члена - базальная интенсивность потребления глюкозы мозгом и эритроцитами и интенсивность расходования глюкозы периферическими инсулинзависимыми тканями, мышечной и жировой, при высоких значениях концентрации инсулина, превышающих пороговую i^* [4]. Предпоследний член соответствует прохождению глюкозы в мочу при превышении её концентрации в крови пороговой g^* . Скорость поступления экзогенной глюкозы обозначена $f(t)$.

Первый член правой части второго уравнения соответствует спонтанному распаду инсулина, второй - его секреции в кровь, которая, как следует из физиологических данных [4,5], определяется уровнем глюкозы в момент времени на τ минут раньше текущего. Через $\varphi(t)$ обозначена скорость поступления экзогенного инсулина.

Коэффициенты $\alpha, \beta, A, B, \gamma, \zeta, k$, означающие интенсивность соответствующих процессов, и пороговые значения M, i^*, g^* подлежат идентификации - подбору с использованием физиологических данных.

Полученная система (1) двух нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, разрешённых относительно производных, с добавлением начальных условий имеет решение, притом единственное, благодаря непрерывности их правых частей по всем переменным и выполнению известных условий Липшица [6].

Решение системы (1) можно найти, например, методом последовательных приближений Пикара-Линделёфа [6]. Если же учесть определенное временное запаздывание воздействия одних параметров на другие (из физиологических представлений можно считать его равным одной минуте), система (1) превратится в систему дифференциально-разностных уравнений, существование и единственность решения которой определяется подобно предыдущему, причём решение можно найти очень простым методом последовательного интегрирования (шагов) [7]. Это значит, что на каждом шаге система (1) распадается на два отдельных уравнения: первое - относительно функции $g(t)$ с известной величиной $i_1(t)$, значение которой вычисляется на предыдущем шаге в момент времени на одну минуту раньше: $i_1(t) = i(t-1)$; второе - относительно функции $i(t)$, в нём величина $g_\tau(t)$ считается известной, она находится в предшествующий момент времени на τ минут раньше: $g_\tau(t) = g(t-\tau)$. Запаздывание τ изменяется как в каждом переходном процессе, увеличиваясь от одной минуты до тридцати - сорока минут, так и в течение суток, уменьшаясь с утра до ночи [5]. Для упрощения будем считать его постоянным, равным двадцати минутам.

Таким образом, на каждом шаге решение уравнений (1) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} g(t) &= e^{-\int_t^1 r(\tau) d\tau} \left[g(z) + \int_z^t F(s) e^{\int_s^1 r(\tau) d\tau} ds \right], \\ i(t) &= e^{-\int_t^1 \left[g_\tau(s) + \int_{t_0}^s h(\tau) d\tau \right] ds} \left[i(t_0) + \int_{t_0}^t e^{\int_s^1 g_\tau(\tau) d\tau} h(s) ds \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

где $r(t) = \alpha i_1(t) + \sigma$;

$F(t) = -A - BEs(i_1(t) - i^*) + f(t) + \sigma\rho$;

$h(t) = k g_\tau(t) + \varphi(t)$;

t_0 - начальный момент времени, в который заданы начальные условия $g(t_0)$ и $i(t_0)$ (вернее, задаются начальные функции $\psi(t)$ и $f(t)$: $g(t) = \psi(t)$ при $t_0 - \tau \leq t \leq t_0$ и $i(t) = \chi(t)$ при $t_0 - 1 \leq t \leq t_0$, которые будем считать постоянными), для простоты t_0 будем полагать равным нулю.

Момент времени z вначале совпадает с t_0 , а затем с моментами времени, в которые функция $g(t)$ проходит одно из пороговых значений M , g^* ($M < g^*$). При этом, если $g(t) < M$, $\sigma = \beta$ и $\rho = M$, при $M < g(t) < g^*$ $\sigma = \rho = 0$ и в случае $g^* < g(t)$ $\sigma = \gamma$, $\rho = g^*$.

Входящие в (3) определенные интегралы будем вычислять с помощью квадратурной формулы трапеций с шагом единица. Возникающую из-за такой замены погрешность в окончательных результатах можно оценить по точности их выхода на базальные значения.

При этом для нахождения значений искомых функций $g(t)$ и $i(t)$ в эквидистантных точках с шагом в одну минуту получаем формулы, по которым непосредственно проводятся вычисления:

$$\begin{aligned} g[m] &= e^{-R_1[m]} \{g[N] + R_2[m]\}, \\ (m &= 1, 2, 3, \dots) \\ i[m] &= e^{-\zeta(m-1)} \{i[1] + Q[m]\}, \\ R_j[m] &= \begin{cases} 0, & m = N, \\ R_j[m-1] + \frac{1}{2}(r_j[m-1] + r_j[m]), & m \geq N+1, \end{cases} \\ Q[m] &= \begin{cases} 0, & m = 1, \\ Q[m-1] + \frac{1}{2}(q[m-1] + q[m]), & m \geq 2, \end{cases} \\ r_1[m] &= \alpha i_1[m] + \sigma, \quad r_2[m] = F[m] e^{R_1[m]}, \quad q[m] = e^{\zeta(m-1)} h[m]. \end{aligned} \quad (4)$$

При пероральном введении глюкозы кривую временной зависимости интенсивности её всасывания в желудке и кишечнике можно описать формулой [5]:

$$f(t) = D(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}), \quad (5)$$

где D , λ_1 , λ_2 - некоторые постоянные.

Как уже отмечено, коэффициенты α , β , A , B , γ , ζ , k , M , g^* , i^* , D , λ_1 , λ_2 требуют идентификации, которая для получения базовой общей модели, по-видимому, должна опираться лишь на общепринятые физиологические представления и обширные клинические данные, имеющие широкую вариабельность [4,8], а не отдельные экспериментальные данные для конкретного человека, которые к тому же почти отсутствуют. Использование экспериментальных данных, полученных на животных-

живых моделях человека, тем более сомнительно для нашей цели. Опираясь на средние клинические данные [8], получим усреднённую базовую модель, которую при необходимости затем можно будет привязать к конкретному пациенту, т. е. индивидуализировать.

При идентификации сопоставлялись расчётные и клинические значения базального уровня глюкозы и инсулина, различные в норме и в патологии, точки максимума гипергликемии, время его достижения, время возврата к исходному уровню, величина и длительность гипогликемической фазы.

В результате идентификации были получены следующие значения коэффициентов модели в норме:

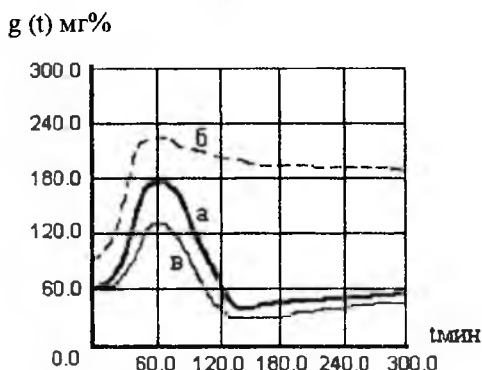
$$\begin{aligned}\alpha &= 0,62 \cdot 10^{-5} (\text{мкЕд } \% \text{ мин})^{-1}; \beta = 0,0112 \text{ мин}^{-1}; A = 0,28 \text{ мг } \% \text{ мин}^{-1}; \\ B &= 0,001 \text{ мг } (\text{мкЕд } \% \text{ мин})^{-1}; \gamma = 0,4 \text{ мин}^{-1}; \zeta = 0,016 \text{ мин}^{-1}; \\ k &= 0,4 \text{ мкЕд } \% (\text{мг } \% \text{ мин})^{-1}; M = 135 \text{ мг } \%; g^* = 190 \text{ мг } \%; \\ i^* &= 6000 \text{ мкЕд } \%; D = 20 \text{ мг } \% \text{ мин}^{-1}; \lambda_1 = 0,01 \text{ мин}^{-1}; \lambda_2 = 0,02 \text{ мин}^{-1}.\end{aligned}$$

При таких значениях коэффициентов модель хорошо воспроизводит кривую глюкозотолерантного теста в норме, в том числе её гипогликемическую фазу (рисунок, кривая а), причём при любых начальных условиях и произвольных экзогенных поступлениях глюкозы и инсулина модель асимптотически выходит на базальный уровень 60 мг % глюкозы и 1500 мкЕд % инсулина.

Изменяя коэффициенты модели, можно продемонстрировать известные патологии механизма ауторегуляции уровня глюкозы в крови с установлением соответствующего базального уровня, характерного для патологии. Так, при снижении секреции инсулина (уменьшении коэффициента k) либо при ослаблении его эффективности в результате отсутствия белков-рецепторов в мембранах клеток печени (уменьшение коэффициента α) и уменьшении утилизации глюкозы периферическими тканями (уменьшении коэффициента β) получается гипергликемический эффект типа инсулин-зависимого (ИЗСД I типа) или инсулиннезависимого (ИНСД II типа) сахарного диабета, соответственно (рисунок, кривая б). Подобным образом проявляется и эффект увеличения продукции глюкозы печенью (возрастание коэффициента β или порогового значения M) при продолжительной гиперсекреции гормонов антагонистов инсулина: гормона роста (акромегалия), глюкокортикоидов (синдром Кушинга), катехоламинов (феохромоцитома). Базальный уровень при этом повышается.

Гипогликемические нарушения происходят при повышенной секреции инсулина в результате инсулиномы (увеличение коэффициента k), а также при уменьшении продукции глюкозы печенью в случае недостаточности контррегуляторных гормонов (уменьшении коэффициента β), при гипопигунтаризме и гипофункции других периферических эндокринных

желез (рисунок, кривая в). В этом случае может понизиться базальный уровень, а также усиливаться и продлиться гипогликемическая фаза.



Приведенные результаты демонстрируют эффективность предложенной модели для описания механизма ауторегуляции уровня глюкозы в крови человека в норме и при гипер- и гипогликемии. Являясь минимальной моделью по принятой терминологии, она описывает гипергликемические нарушения системы не хуже наиболее эффективных из предшествующих математических моделей – интегральных Албиссера, Кобелли, Новосельцева [2, 9, 10] и соответствующих им упрощённых минимальных [11,12], которые используются обычно в комплексе и поэтому дают совпадающие результаты. При этом предложенная нами модель более точно воспроизводит нормальную гликемическую кривую глюкозотолерантного теста, включая её характерную гипогликемическую фазу. Следует отметить, что формально, на языке управляющих сигналов, гликемическую кривую с гипогликемической фазой даёт и модель Антомонова [1], исторически первая доведенная до сопоставления с клиническими и экспериментальными данными. Кроме того, предложенная модель, по-видимому, впервые позволяет демонстрировать различные гипогликемические нарушения механизма уровня ауторегуляции уровня глюкозы в крови.

Список литературы: 1. Антомонов Ю.Г., Кифоренко С.И., Микульская И.А., Пароконная Н.К. Математическая теория системы сахара крови. К.: Наук. думка, 1971. 83 с. 2. Ахутин В.М., Нефедов В.П., Сахаров М.П. Инженерная физиология и моделирование систем организма. Новосибирск: Наука, 1987. 236 с. 3. Нефедов В.П., Ясайтис А.А., Новосельцев В.Н. Гомеостаз на различных уровнях организации биосистем. Новосибирск: Наука, 1991. 230 с. 4. Эндокринология и метаболизм/ Под ред. Ф. Фелига, Дж. Д. Бакстера, А.Е. Бродуса, Л.А. Фромена. М.: Медицина, 1985. Т. 2. 416 с. 5. Петридес П., Вайсс Л., Леффлер Г., Вийланд О. Сахарный диабет. М.:

- Медицина, 1980. 200 с. 6. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1965. 703 с. 7. Эльсгольц А.Э., Норкин С.Б. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом. М.: Наука, 1971. 296 с. 8. Клиническая оценка лабораторных тестов/ Под ред. Н.У. Тица. М.: Медицина, 1986. 356 с. 9. Albisser A.M., Spencer W. J. Electronics and the diabetes. I IEEE Trans. Ser. BME. 1982. Vol. 29, № 4. P. 239-248. 10. Cobelli C., Bergman R.N. Carbohydrate metabolism. N.Y., L., John Wiley and Sons. 1981. 193 p. 11. Новосельцев В.Н. Теория управления и биосистемы. М.: Наука, 1978. 100 с. 12. Bergman R.N., Cobelli C. Minimal modeling, partitional analysis and the estimation of insulin sensitivity. Fed. Proceedings. 1980. Vol. 39. P. 110-115.

Поступила в редколлегию 05.07.99

Е.В. БЕЛЕЦКИЙ

МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ КОНТЕКСТНОГО ПОСРЕДНИКА

Контекстный посредник – это система, осуществляющая контекстный обмен данными. Структура такой системы подробно описана в [1]. В данной работе представлена логическая модель знаний контекстного посредника, основанная на бинарных предикатах. Контексты рассмотрены как объекты предметной области, а связи между ними описаны новой логической моделью, выделенной как следующий уровень (плоскость) представления знаний. Таким образом, получается многоуровневая логическая модель знаний контекстного посредника, которую еще называют контекстной моделью интегрируемых посредником баз данных (БД).

Для построения логической контекстной модели БД используются предикаты и операции над ними [2].

$R(x, y)$ – фиксированное бинарное отношение, заданное на декартовом произведении $E^n * E^n$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$; $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, E – некоторое множество значений концептов [2]. На языке алгебры конечных предикатов принадлежность пары (x, y) отношению R имеет вид предиката: $xRy = R(x, y) = R(x_1, x_2, \dots, x_m, y_1, y_2, \dots, y_n)$.

Над бинарными предикатами определены операции суммы, произведения, обращения, отрицания и рассмотрена алгебра предикатов, основанная на этих операциях [2].

Пусть R_1 и R_2 – бинарные отношения, заданные соответственно на $E^m * E^n$ и $E^n * E^p$. Произведение $R_1 * R_2$ этих отношений, определенное на $E^m * E^p$, имеет вид $xR_1 * R_2 y = xR_1 z \wedge zR_2 y$. Здесь $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$; $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$; $z = (z_1, z_2, \dots, z_p)$.

Пусть R_1 и R_2 – бинарные отношения, заданные на E^m . Сумма $R_1 + R_2$ отношений R_1 и R_2 , определенная на E^m , имеет вид $xR_1 + R_2 y = xR_1 y \vee xR_2 y$. Здесь $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$; $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$.

Бинарное отношение R^{-1} , обратное отношению R , имеет вид $xR^{-1}y = yRx$. Здесь $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$; $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. В этом случае имеет место операция обращения отношения R .

Если x не вступает в отношение R с y , имеет место отрицание отношения R , обозначаемое $\bar{x}Ry$.

Помимо свойств, доказанных для операций суммы и произведения [2], доказаны свойства для операций отрицания и обращения.

Обращение произведения $(R_1 * R_2)^{-1} = R_1^{-1} * R_2^{-1}$.

Обращение суммы $(R_1 + R_2)^{-1} = R_1^{-1} + R_2^{-1}$.

Обращение обращения $(R^{-1})^{-1} = R$

Отрицание обращения $\overline{R^{-1}} = (\overline{R})^{-1}$

Для задания отношения в виде предиката используется понятие характеристики предиката [2].

Для построения логической контекстной модели употребляются предикаты, моделирующие некоторые специфические отношения.

$D(x,y)$ - предикат равенства [2], устанавливает отношение равенства между концептами x и y . Формально предикат равенства определяется следующим образом: $xDu = \forall x \forall y \forall z (zRx \wedge zRy)$. Если концепты x и y связаны отношением равенства, то они семантически эквивалентны и конфликты между ними отсутствуют.

$E(x,y)$ - предикат эквивалентности [2]. Формально определяется следующим образом:

$$E(x, y) = \exists z (P(z, x) \wedge P(z, y)),$$

$$E(x, y) = \forall z (P(z, x) \sim P(z, y)).$$

Существует связь между предикатами равенства и эквивалентности $E(x,y) = D(f(x), f(y))$. Это означает, что если концепты x и y связаны отношением эквивалентности, то их, в принципе, можно связать отношением равенства, но в нем будут присутствовать семантические конфликты. Для их устранения вводится новый уровень предикатов более высокого порядка, на котором описывается предикатная операция над предикатом E [2].

$N(x,y)$ - предикат незнания, указывает на то, что не найдено никакой семантической связи между концептами x и y . Формально он определяется так: $xNy = \forall x \forall y \neg \exists R(xRy)$.

Предикаты D, N и E задаются следующими характеристиками:

$$D = \begin{pmatrix} 10 \dots 0 \\ 01 \dots 0 \\ \dots \dots \dots \\ 00 \dots 1 \end{pmatrix}, \quad N = \begin{pmatrix} 00 \dots 0 \\ 00 \dots 0 \\ \dots \dots \dots \\ 00 \dots 0 \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} 10 \dots 0 \\ 011 \dots 0 \\ 011 \dots 0 \\ 00 \dots 1 \end{pmatrix}.$$

Предикат-свойство $M(x, x_1)$ описывает свойства концепта x как концепт x_1 , находящийся на более высоком уровне контекстной модели.

Определим формально предикат-свойство. Пусть предикат $P(x)$ задает свойство концепта x . Это означает, что

$$P(x) = 1 \Leftrightarrow x \in P \Leftrightarrow E(x, P).$$

Обозначим предикат второго порядка ϵ предикатным символом M . Предикат P становится концептом (предметной переменной) второго порядка и обозначается символом $x1$. Таким образом, определяем переход от нижнего уровня контекстной модели БД к верхнему.

Предикат альтернатив $A(x,y)$ устанавливает все отношения между концептами x и y на одном уровне контекстной модели. Фактически A - это предикатная операция над всеми предикатами, участвующими в связывании концептов x и y .

Рассмотрим основанную на этих предикатах контекстную модель БД. Предположим, что концепты x и y связаны отношением эквивалентности E . Это значит, что между ними имеет место семантический конфликт. Для его устранения необходимо совершить переход на более высокий уровень модели и найти все отношения между свойствами $x1$ и $y1$ концептов x и y . В этом случае отношение между x и y будет выглядеть так.

$$P(x, y) = E(x, y) = D(f(x), f(y)) = \\ = D(x, y) + M(x, x1) * A(x1, y1) * M^{-1}(y1, y) \\ A(x1, y1) = \sum \prod R_{x1 \rightarrow y1}.$$

Если в альтернативах отсутствуют предикаты эквивалентности, то концепты x и y можно связать отношением равенства, т.е. $P(x,y)=D(x,y)$, в противном случае необходим переход на более высокий уровень контекстной модели. Конфликт считается устраненным, если все семантически эквивалентные концепты удалось связать предикатом равенства. Предикаты контекстной модели формируются либо в процессе контекстуализации, либо берутся из области общих онтологий [1].

Опишем контекстную модель БД, приведенных в работе [1], в рамках логики предикатов высших порядков

Базовый уровень:

$E(\text{price1}, \text{price2})$ $E(\text{descr1}, \text{descr2})$

Первый уровень:

$E(\text{Text1}, \text{Text2})$	$D(\text{var1}, \text{var2})$	$E(\text{real1}, \text{real2})$
$P11(\text{var1}, \text{real1})$	$P21(\text{real1}, \text{text1})$	$P31(\text{real1}, \text{money1})$
$P11(\text{var1}, \text{real1})$	$P21(\text{real1}, \text{text1})$	$M(\text{price1}, \text{money1})$
$M(\text{price2}, \text{real2})$	$M(\text{descr1}, \text{text1})$	$M(\text{descr2}, \text{text2})$

Второй уровень:

$D(\text{Ukr1}, \text{Ukr2})$	$D(\text{UAG1}, \text{UAG2})$	$D(\text{USD1}, \text{USD2})$
$P12(\text{USD1}, \text{RUR1})$	$P22(\text{USD1}, \text{UAG1})$	$P32(\text{Ukr1}, \text{Eng1})$
$P42(\text{DM2}, \text{USD2})$	$P52(\text{UAG2}, \text{DM2})$	$P62(\text{Rus2}, \text{Ukr2})$
$M(\text{money1}, \text{RUR1})$	$M(\text{real2}, \text{UAG2})$	

Методом резолюций определяем отношение, связывающее поля «описание товара» двух приведенных БД.

$$P(descr1, descr2) = D(descr1, descr2) + M(descr1, text1) \times D(text1, text2) + \\ + M(text1, Ukr1) \times D(Ukr1, Ukr2) \times P62^{-1}(Ukr2, Rus2) \times \\ \times M^{-1}(Rus2, text2) \times M^{-1}(text2, descr2).$$

При трактовке полученной формулы как последовательности контекстных преобразований знак умножения ($\times$) указывает на непосредственное следование вызовов методов, знак сложения (+) - на альтернативность цепочек преобразований, а предикат равенства - на отсутствие каких-либо преобразований на каждом контекстном уровне. Преобразования следует выполнять, начиная с наивысшего уровня контекста и заканчивая базовым. В рассмотренном примере для полей описаний необходим перевод с украинского языка на русский.

Таким образом, представлена логическая модель знаний системы контекстного обмена данными, а также предложен метод решения проблемы приобретения и обработки контекстных знаний, построенных путем использования этой модели.

Список литературы: 1. Бондаренко М.Ф., Дударь З.В., Белецкий Е.В., Байгозина О.Г. Структура системы контекстного обмена данными // Проблемы бионики. 1999. Вып. 50. С. 18-24. 2. Баталин А.В., Тевяшев А.Д., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. О системном анализе информационных процессов // Радиотехника и информатика. 1998. № 3. С. 102-110.

Поступила в редколлегию 07.06.99

Т.Б. ШАТОВСКАЯ

ОЦЕНКА ПРЕДЕЛА ОШИБОК В ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ГРЕБНЕВЫХ И РОБАСТНЫХ МЕТОДАХ

Для решения практических задач идентификации и управления сложными технологическими объектами (процессами) существует достаточно большое количество алгоритмов. Однако, несмотря на это, возникает немало препятствий их эффективного использования. Каждый алгоритм ориентирован, как правило, на решение конкретного класса задач и обеспечивает эффективность решения лишь при выполнении некоторых теоретических предположений. Выбор того или иного алгоритма для конкретного объекта представляет определенную трудность, связанную с анализом и оценкой их эффективности в зависимости от класса объекта и его статистических характеристик. В связи с нелинейным характером алгоритмов идентификации и управления их аналитическое исследование представляет достаточно сложную задачу. Наиболее доступными для исследования качественных и количественных показателей эффективности использования алгоритмов в автоматизированных системах управления технологическими процессами являются методы имитационного моделирования и методы оценки чувствительности.

В статье исследуется проблема чувствительности алгоритмов идентификации к степени изменения статистических характеристик исходных данных, а также оценивается эта чувствительность к степени обусловленности последних и к виду закона распределения. Рассматривается класс статических моделей.

Возможности многих методов идентификации ограничены, поскольку реальные данные не укладываются в рамки идеальных моделей. Так, несоблюдение предпосылок полного ранга исходных данных, наличие ошибок, распределенных по негауссовскому закону, и ошибок измерений больших, чем ошибки модели, приводят к неустойчивым решениям.

В таких условиях метод МНК дает смещенные оценки. Альтернативным МНК методом является смещенное оценивание, которое в настоящее время находит широкое применение. Для уменьшения длины оценки МНК в случае мультиколлинеарности используются сжатые оценки. Представителями такого класса являются оценки James и Stein, оценка дробного ранга (обобщенная инверсная оценка) [2].

Теоретический анализ не позволяет однозначно ответить на вопрос о преимуществах какой-либо из процедур [4,5]. С этой целью проведено экспериментальное сравнение наиболее типичных представителей смещенных оценок. Исследования (таблица) показали, что в большинстве

случаев, связанных с мультиколлинеарностью, гребневые оценки превосходят по эффективности сжатые, дробного ранга, главных компонент и характеристического корня. Однако и в классе гребневых оценок невозможно указать процедуру, во всех случаях обеспечивающую одинаково высокую эффективность оценивания.

Сравнительный анализ некоторых смещенных оценок по
среднеквадратичной ошибке оценивания (MSE)

Cond X'X	1	5	50	100
Оценка				
P_1	1.20	4.24	46.83	103.19
P_2	1.89	4.81	22.57	60.25
P_3	1.51	6.94	72.23	160.97
P_4	2.61	14.10	150.71	322.55
P_5	2.05	9.50	99.44	228.38
P_6	2.81	9.91	114.65	240.33
P_-	2.10	11.49	133.00	278.78
P_x	3.32	17.46	180.70	362.65

Примечание:

P_1 - обычная гребневая оценка;

P_2 - обобщенная направленная гребневая оценка;

P_3 - обобщенная гребневая оценка;

P_4 - гребневая оценка с выбором фактора деформации по значению индекса стабильности;

P_5 - однопараметрическая гребневая оценка;

P_6 - сжатая оценка;

P_- - оценка дробного ранга;

P_x - оценка МНК;

характеристики тестового примера: $m=5$, $n=100$, $\sigma^2 = 1,0$;

вектор коэффициентов α равен собственному вектору, соответствующему $\lambda_{\max}$.

Не менее важным требованием к процедуре оценивания является слабая чувствительность к виду закона распределения ошибок. Известно, что МНК утрачивает свойство эффективности, если распределение ошибки отлично от нормального, однако он сохраняет чувство наилучшего оценщика в классе линейных несмещенных оценок [1]. Чувст-

вительность МНК к "негауссовости" распределений резко ограничивает возможность его использования при идентификации реальных процессов.

В подобных случаях альтернативой МНК являются методы, обладающие свойством робастности (устойчивости). В литературе большое внимание уделяется разработке и исследованию робастных оценок параметра положения, масштаба, коэффициента корреляции, регрессии. Различают два вида робастности. Первый - терпимость к ненормальности на хвостах распределений - определяют как робастность к предположкам. Второй вид - высокая эффективность, невзирая на ненормальность хвостов, - определяют как робастность к эффективности. В задаче параметрической идентификации второе свойство является необходимым условием обоснованного выбора алгоритма. Для получения эффективных оценок параметров модели при негауссовых распределениях используются оценки максимального правдоподобия с неквадратичной функцией потерь. Вместо квадратичной рассматривается некоторая выпуклая функция $\rho(\cdot)$, что приводит к минимизации суммы:

$$\sum_{i=1}^n \rho \left(y_i - \sum_{j=1}^m x_{ij} \tilde{a}_j \right),$$

где $\tilde{a} = \left\{ \tilde{a}_j \right\}_{j=1}^m$ - М-оценки неизвестных параметров модели. Частным случаем робастной оценки МП являются $L(v)$ - оценки, разработанные для распределений с плотностью $f(x_j, v) = A e^{-\sigma|x_j|^v}$, $0 < v < 2$, которые имеют более тяжелые хвосты, чем нормальное, а $L(v)$ - оценка минимизирует функцию

$$Q(v, \tilde{a}) = \sum_{i=1}^n \left| y_i - \sum_{j=1}^m \tilde{a}_j x_{ij} \right|^v = \sum_{i=1}^n |E_i|^v.$$

При $v < 2$ процедура оценивания выступает как фильтр выбросов.

Функция $Q(v, \tilde{a})$ для $v \geq 1$ имеет единственный локальный минимум, который совпадает с глобальным; $0 < v < 1$ функция может иметь несколько локальных минимумов. При $v=1$ $L(v)$ - оценки соответствуют оценкам метода наименьших модулей:

$$\sum_{i=1}^n |E_i| \rightarrow \min.$$

Оценим связь между статистическими характеристиками объекта и качественными показателями методов построения модели на основании функции чувствительности. В этом случае последовательность действий представим в следующем виде. Зададимся статистическими характерис-

иками матрицы входных переменных $X(p \times r)$, которая состоит из таких показателей, как вид закона распределения и его параметры (математическое ожидание, дисперсия, эксцесс, асимметрия), количество входных переменных p , количество измерений n , корреляция между измерениями, корреляция между входными переменными, погрешности измерений или отношение сигнал / шум.

Зададимся различными структурами модели (линейная без квадратов и членов взаимодействия, линейная с членами взаимодействия $X_j \cdot X_l, j \neq l$ и квадратами $X_j^2, j, l = \overline{1, p}$, т.е. $Y=f(X, B, E)$). Зададимся величиной ошибки E (отношение сигнал / шум). Зададим вектор параметров модели $B(p \times 1)$. По модели $Y=f(X, B, E)$ получим вектор $Y(n \times 1)$.

Используем какой-либо метод оценивания (наименьших квадратов, обобщенный метод наименьших квадратов, робастные методы, гребневые и т.д.). На основании данных вход-выход (X, Y) получаем оценки вектора $\hat{B}$ в соответствии с выбранным методом. Далее оцениваем показатели эффективности метода.

Так, среднеквадратическая ошибка оценки $\hat{B}$ вычисляется по формуле

$$E(L_j^2) = E(b_j - \hat{b}_j)^2 (b_j - \hat{b}_j).$$

Строим зависимость показателей эффективности L в функции статистических характеристик матрицы X .

Для этой цели целесообразно использовать методы активного планирования эксперимента. В каждой точке плана оцениваются величины L и параметры A зависимости $L=F_1(X, B, E)$. Проводится интерпретация результатов и оценивается влияние каждой статистической характеристики на эффективность метода. Изменяя параметры матрицы X , получаем различные значения функции $L=F_1(X, A, E)$. Таким образом, формируем базу знаний для конкретного метода. В процессе моделирования оценка показателей качества методов идентификации имеет погрешность, которая обусловлена неточностями в оценке закона распределения, в задании параметров модели, моделируемых погрешностей, корреляций и т.д.

В данной работе предлагается методика оценки значимости параметров A по отношению к показателю эффективности методов L с использованием функций чувствительности.

Пусть статическая модель технологического объекта описывается функцией $Y=f(X, B, E)$. Вектор входных переменных X может иметь различную размерность при различных j и i , $X_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$, $i=\overline{1, n}, j=\overline{1, p}$. Вектор параметров модели, по которым предполагается

определить чувствительность, имеет вид $V=(b_1, b_2, \dots, b_k)$, где k – количество параметров, участвующих в оценке чувствительности. Вектор выходов модели имеет вид

$$Y_i = (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ik}), i = \overline{1, n}.$$

Выходные показатели качества алгоритмов представлены как $L(b)=(L_1, L_2, \dots, L_k)$.

Предположим, что зависимость $L(b)$ достаточно гладкая. При небольших вариациях вектора V вокруг фиксированного значения b_0 показатели L приближенно представим гиперплоскостью:

$$L_v = L_{v0} + \sum_{z=1}^m \frac{dL_v}{db_z} (b_z - b_{z0}),$$

где b_{z0} - значение параметра в фиксированной точке;

b_z - значение параметра в варьируемой точке;

L_{v0} - значение показателя качества метода в фиксированной точке;

$L_v, v=1, 2, \dots, k$ - значения показателя качества в варьируемой точке.

Погрешности ΔL_v в определении показателей L_v , вызванные неточностью Δb_z параметров b_z , вычисляются по формуле

$$\Delta L_v = \sum_{z=1}^m \frac{dL_v}{db_z} \Delta b_z,$$

позволяющей при необходимости определить пределы ошибок ΔL_v . Для решения данной задачи необходимо получить статистические оценки $\hat{L}_v$ и

$\frac{d\hat{L}_v}{db_z}$ и их дисперсий $\sigma^2(\hat{L}_v)$ и $\sigma^2(\frac{d\hat{L}_v}{db_z})$. Производные по параметрам b_z

будем определять как коэффициенты регрессионных гиперплоскостей, построенных по результатам N - кратного испытания модели в Z - периферийных точках пространства b_z , составляющих модифицированный

насыщенный двухуровневый ортогональный план. Значение $\hat{L}_{v0}$ будет содержать систематическую погрешность в случае, если зависимость $L(v)$ не линейна. С целью увеличить точность получения оценок $\frac{d\hat{L}_v}{db_z}$ необходима организация зависимых испытаний с получением

положительной корреляции между оценками. Чувствительность по параметрам оценим с помощью результатов эксперимента в центре плана.

Оценки $\hat{L}_v, \frac{d\hat{L}_v}{db_z}, \sigma^2(\hat{L}_v), \sigma^2(\frac{d\hat{L}_v}{db_z})$ определяются следующим образом.

План экспериментакратно повторяется при независимых реализациях случайных факторов X . При каждом испытании вычисляется значение выхода модели в нескольких периферийных точках плана. По значениям Y_i вычисляются значения $\hat{L}_v$ и их производные по данным испытания модели на j -реализации плана.

Таким образом, основными этапами в определении погрешности оценок эффективности алгоритмов идентификации являются: задание структуры исходной модели; организация эксперимента по заданным факторам; определение способа генерации для испытания тест-выборок по заданной корреляционной матрице; генерация корреляционной матрицы с заданными свойствами; определение выхода модели; определение оценок

$$\hat{L}_v, \frac{d\hat{L}_v}{db_z}, \sigma^2(\hat{L}_v), \sigma^2\left(\frac{d\hat{L}_v}{db_z}\right); \text{ интерпретация результатов.}$$

Для определения производных $\frac{dL_v}{db_z}$ организовывается насыщенный двухуровневый ортогональный план. Размерность матрицы планирования определяется количеством столбцов k и строк m . Эти величины связаны между собой соотношением $\min(m=2^z) > k$, $z=1,2,\dots$. Количество варьируемых переменных k определяется исследуемой моделью и может принимать произвольные значения. План эксперимента N - кратно повторяется при независимых реализациях случайных факторов X .

При каждом повторении вычисляются значения Y_i выходов моделей. Вне зависимости от того, как генерируются реализации случайных факторов X , вычисляются показатели качества L_v и их производные $\frac{dL_v}{db_z}$.

Чтобы получить несмещенные оценки показателей качества L_v и оценки чувствительности этих показателей по параметрам плотности вероятности случайных факторов X , необходимо провести несколько испытаний в центре плана. В этом случае оценки показателей в центре плана могут содержать меньшую систематическую погрешность при нелинейной зависимости $L(b)$ [3]. Погрешности в показателях качества алгоритмов зависят от количества вводимых факторов, диапазона их изменений, количества наблюдений. Наличие погрешностей в оценках эффективности алгоритмов приводит к ошибочной классификации методов идентификации. В этом случае целесообразно для каждого критерия оценки ввести взвешенный параметр, который бы устранил погрешности [2].

Данный подход используется при разработке системы принятия решений по выбору метода идентификации в автоматизированных системах управления технологическими предприятиями различных классов.

Список литературы: 1. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир, 1973. 302 с. 2. Sen A., Sinha N.K. On-line system identification algorithm combining stochastic approximation and pseudo-inverse // Automatic. 1987. N4. P. 425-429. 3. Sen P.K. Nonparametric simultaneous inference for some MANOVA models / Handbook of Statistic. Vol.1. Holland, 1980. P. 120-125. 4. Статистические методы повышения качества / Под ред. Хитоси Куме. М.: Финансы и статистика, 1991. 120 с. 5. Смоляк С.А., Титаренко Б.П. Устойчивые методы оценивания. М.: Статистика, 1980. С.98-115.

Поступила в редколлегию 23.09.98.

В.И. КАУК, С.Ф. ЧАЛЫЙ

ПРИНЦИПЫ РЕИНЖИНИРИНГА ВНУТРИФИРМЕННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Система документооборота в настоящее время представляет собой часть производственной структуры любого предприятия (организации) и предназначена для учета с помощью документов различных сторон и сфер производственного процесса. Через документы поставляется информация лицам, принимающим решения, и через документы же эти решения доводятся до исполнителей – т.е. система документооборота значительно влияет на эффективность функционирования организации в целом. Можно выделить следующие аспекты такого влияния:

- длительность производственных процессов в организации в значительной мере зависит от скорости прохождения документов;
- основные задержки прохождения документов возникают при их согласовании, а также переходе между подразделениями организации;
- расходы на документооборот в большинстве случаев являются непроизводительными, т.е. они напрямую не увеличивают стоимость вновь создаваемой продукции;
- как правило, несколько копий одного и того же документа должны быть одновременно доступны в нескольких пространственно /даленных точках;
- конфликтные ситуации в процессах документооборота во многих случаях требуют интеллектуальных методов их разрешения.

Таким образом, в современных экономических условиях актуальной является проблема повышения эффективности внутрифирменного документооборота.

Серьезную основу для решения этой проблемы обеспечивают современные технологии автоматизации работы с документами:

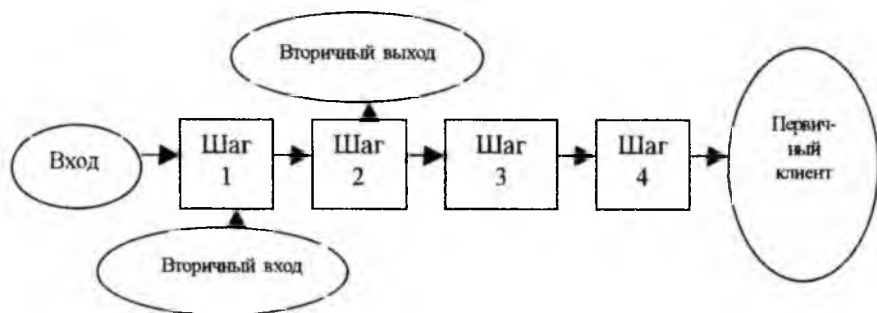
- workflow-технологии;
- использование интегрированных офисных приложений;
- клиент-серверные технологии;
- internet/intranet-технологии.

Традиционный подход к автоматизации документооборота предполагает автоматизацию рутинных процессов ввода информации, а также замену либо модернизацию устаревших аппаратных средств. Технология работы с документами при этом практически не изменяется. Такой подход, по зарубежным источникам [1], позволяет повысить

эффективность работы на несколько десятков процентов и, во многих случаях, не оправдывает затрат на автоматизацию.

В то же время в экономике в последние годы интенсивно развивается новое направление – реинжиниринг бизнес-процессов [1,2]. Реинжиниринг предполагает «фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес - процессов для достижения существенных улучшений в таких ключевых для современного бизнеса показателях результативности, как затраты, качество, уровень обслуживания и оперативность» [1].

Бизнес-процесс представляет собой поток работы, переходящий от одного человека к другому (либо от одного подразделения организации к другому). Бизнес-процессы можно описать на разных уровнях, но они всегда имеют начало, определенное число шагов и четко очерченный конец [2]. Для любого отдельно взятого процесса эти границы установлены первичными входами, с которых этот процесс начинается, и выходом, на котором выдаются результаты первичным клиентам процесса, как показано на рисунке. Например, первичным входом в процессе сбыта может быть получение документов с подтверждением заказа. Первичным выходом процесса может быть получение определенной информации, услуги, документа.



После начала процесса у него могут появиться вторичные входы – например, управленческая информация. Точно так же могут существовать и вторичные выходы, которые получают как побочные продукты процесса. Примером может служить отчет о количестве сверхурочного времени, отработанного персоналом во время выполнения производственного процесса.

Важной особенностью бизнес-процессов является их связь с системой документооборота. Как правило, входы и выходы всех бизнес-процессов связаны не только с получением заказов, выпуском готовой продукции и т.п., но и с получением/выдачей соответствующих документов. Кроме того, документооборот организации может быть описан в виде бизнес-

Другой характерной чертой бизнес-процессов является их неявное описание в форме зависимостей вида:

первичный вход процесса

ТО Выполнить последовательность операций бизнес-процесса (1)

В РЕЗУЛЬТАТЕ Получаем выходной сигнал(документ)

Третья существенная черта бизнес-процессов состоит в том, что их элементы, включающие шаги бизнес-процесса и связанные с ними вторичные входы/выходы, также могут быть описаны в форме правил вида (1).

Таким образом, каждый бизнес-процесс можно описать в виде некоторого аналога правила продукции. Совокупность таких правил для всех бизнес-процессов в организации позволяет описать всю ее деятельность.

В настоящее время отсутствует стандартный набор бизнес-процессов, каждая организация должна разрабатывать их сама для себя. В то же время описание процессов даже на макроуровне позволяет глубже проникнуть в суть явлений, происходящих в организации, и оценить все существующие связи и взаимоотношения.

В целом подход реинжиниринга требует, в силу его радикальности, поддержки высшего руководства организации и дает очень эффективные результаты в 50-70% случаев [1]. Однако такое серьезное перепроектирование бизнес-процессов может наталкиваться на ограничения, связанные с жесткой регламентацией деятельности фирмы контролирующими организациями.

Таким образом, при автоматизации документооборота целесообразно объединить преимущества двух рассмотренных выше подходов на основе эволюционного перепроектирования бизнес-процессов с использованием элементов искусственного интеллекта. Такой подход строится на следующих принципах:

1. Описание каждого бизнес-процесса организации в форме правила продукции вида (1).

2. Описание совокупности бизнес-процессов организации в виде иерархии правил. Этот принцип предусматривает укрупненное описание бизнес-процессов на уровне организации и представление всех этапов таких процессов в виде бизнес-процессов более низкого уровня (например, уровня подразделения). Как было показано выше, каждый этап (либо операция) может быть реализован только после выполнения ряда условий – инициации соответствующих входов, выполнения всех предшествующих операций и т.п.

Таким образом, каждая операция бизнес-процесса может быть описана в виде правила продукции, а сам бизнес-процесс описывается как последовательность выполняющихся правил продукции.

3. Реинжиниринг бизнес-процессов документооборота снизу – вверх, в соответствии с которым первоначально выполняется перепроектирование процессов документооборота на уровне подразделений и лишь затем – на уровне организации. Для каждого необходимого шага бизнес-процесса определяется:

- набор входных сигналов(документов), инициирующих данный шаг;
- последовательность действий, входящих в данный шаг бизнес-процесса;
- набор выходных сигналов(документов);
- интерфейс каждого шага бизнес-процесса, описывающий форматы входных и выходных документов.

Данный принцип, хотя и приводит к дополнительным итерациям при реинжиниринге, однако обеспечивает ряд преимуществ при автоматизации документооборота:

- снижение затрат за счет исключения избыточных шагов, унификации форм документов и сокращения времени прохождения документов;
- учет интересов сотрудников подразделений путем перепроектирования и снижения их затрат при ведении повседневного документооборота;
- создание необходимой организационной среды для дальнейшего реинжиниринга "вверх", т.е. реинжиниринга документооборота на более высоких уровнях иерархии организации.

4. Стандартизация интерфейса как всего бизнес-процесса, так и отдельных его шагов обеспечивает, наряду с предыдущими принципами, интеграцию подсистем документооборота в единую систему по всей организации.

Список литературы: 1. *Хаммер М., Чампи Дж.* Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе: Пер. с англ. СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. 332 с. 2. *Робсон М., Уллах Ф.* Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов/ Пер. с англ.: Под. ред. Н.Д.Эриашвили. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. 224с.

Поступила в редколлегию 24.02.99

Н.Н. КИЗИЛОВА, Н.А. ПОПОВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ**

Транспортные системы в организмах растений и животных служат для направленной доставки необходимых для жизнедеятельности веществ к каждой клетке организма и вывода продуктов жизнедеятельности клеток. Транспортные системы у человека и многих видов животных представлены ветвящейся системой артерий, вен и лимфатических сосудов. В тканях растений вода с растворенными в ней питательными веществами из почвы движется в направлении от корней растения к листьям по сосудам ксилемы (дальний транспорт). Продукты фотосинтеза движутся в направлении от листьев к корням растения по сосудам флоэмы.

При исследовании объектов живой природы весьма плодотворным оказалось представление о том, что они в ходе эволюции оптимальным образом приспособились к условиям жизнедеятельности. Поэтому особенности строения и функционирования биологических клеток, тканей, органов и систем организмов не просто обусловлены неким набором определяющих внешних и внутренних факторов, но в их структуре и работе реализованы определенные критерии оптимального функционирования [1,2]. Исследование таких критериев в строении ветвящегося кровеносного русла проводилось неоднократно [3-5].

В листьях растений транспорт осуществляется по сосудам ксилемы и флоэмы, расположенным параллельно в сосудисто-волокнистых пучках (жилках), сложное строение которых хорошо видно невооруженным глазом. Для детального изучения структуры сосудисто-волокнистого пучка проводятся микроскопические исследования тонких срезов листа, а для изучения характера жилкования вплоть до мельчайших капиллярных сосудов используются специально приготовленные просветленные препараты листьев [6]. На этих препаратах визуальнo и с помощью микроскопа можно выделить до 8-9 порядков ветвления жилок, но обычно их имеется 5-6 [7]. Биологи характеризуют транспортную сеть листа типом жилкования, плотностью сосудистой сети (число жилок или общая длина на единицу поверхности), иногда числом порядков ветвящейся структуры. При исследовании механики листа растения (устойчивость, прочность) важной характеристикой является угол ответвления жилок второго порядка [8]. В листьях однодольных жилки чаще всего располагаются параллельно вдоль листа (параллельный или дугообразный тип жилкования). Сосудисто-волокнистые пучки листьев двудольных устроены наиболее сложно и в литературе встречаются разные системы их классификации [7-10]. Жилки 2-3 порядков могут доходить до

края листовой пластинки практически без ветвлений или образуя ветвления с некоторым числом поперечных соединений (анастомозов), или же, не доходя до края листа, заворачивать кверху и соединяться с расположенными выше жилками того же порядка, образуя петлю. Причины такого разнообразия в строении сосудисто-волокнистых пучков листьев неясны, но характер ветвления, по-видимому, не связан с условиями произрастания растений (освещенность, влажность, особенности почвы), с геометрическими характеристиками листа и особенностями фотосинтеза [7]. Приведем некоторые результаты исследования строения и оптимальных свойств разных типов сосудисто-волокнистых пучков, свойств, связанных с минимизацией затрат на продвижение растительного сока по сосудам ксилемы и флоэмы. Поскольку параллельно проводящим сосудам в жилках расположены также волокна механической ткани, играющей важную роль в обеспечении прочности и устойчивости к механическим воздействиям, то более полное исследование причин разнообразия устройства и оптимальных свойств жилок может быть проведено при анализе как транспортных, так и армирующих свойств сосудисто-волокнистого пучка листа. Известно, например, что механические элементы растительных тканей оптимально работают при деформациях растений из-за внешних факторов (сила тяжести, ветровая нагрузка и др.) [8]. Эта задача должна составить тему отдельного исследования.

Нами рассматривались листья трех видов растений с разными типами сосудисто-волокнистых пучков: *Phaseolus Limensis*, *Artemisia rusticana*, *Cucurbita pepo* L. (далее I, II и III типы соответственно). Листья I типа округлой формы и имеют петлевидный тип жилкования. Листья II типа сильно вытянуты, имеют одну главную жилку и петлевидный тип строения жилок 2-6 порядков. Система жилок листьев III типа образует ветвления (типа дерева) с анастомозами. Живые листья растений перечисленных типов были отсканированы планшетным сканером. Изображения обрабатывались в графическом пакете Photoshop 4.0 и для проведения измерений импортировались с учетом данных о размере объекта в пакет MapInfo 4.0. Там с помощью инструмента «Рулетка» проводились измерения длин и диаметров жилок. Высокое разрешение при сканировании (300dpi) позволяло многократно увеличивать изображение инструментом Zoom+ для геометрических измерений вплоть до жилок 5-6 порядка. На отдельном слое проводилась разметка участков ветвлений и выделение (цветом и маркерами) жилок разных порядков. Порядки ветвления определялись методом, принятым при анализе ветвлений артериальных русел [4, 5]. Наиболее мелким по диаметру жилкам присваивался порядок ветвления 1. Жилке, образованной двумя жилками 1-го порядка, приписывался 2-й порядок. При соединении жилок i -го и $i+1$ -го порядков образовавшаяся ветвь получала порядок $i+1$. При таком методе в один порядок попадают сосуды с близкими по величине диаметрами. Затем

проводилось обращение нумерации, так что самые крупные (главные) жилки листа принимали значение 1-го порядка, как это и принято в биологии. Для получения данных о суммарной длине сосудов L_i порядка i проводили три независимых измерения для каждого листа. Число сосудов одного порядка N_i подсчитывалось по результатам маркировки листа. Для каждого порядка проводились 10-15 измерений диаметров жилок и определялись средние значения диаметра D_i как среднее арифметическое полученных значений. Точность измерений составила 0,05 мм. Средняя длина l_i жилок порядка i определялась по формуле

$$l_i = L_i / N_i$$

В таблице представлены результаты измерений D_i , L_i , l_i (в мм) 1-5 порядков, осредненные по каждому из исследованных трех типов сосудисто-волокнистых пучков. Средние значения наиболее верно характеризуют общие свойства ветвящихся сосудистых систем, поскольку характерные линейные размеры исследованных объектов заметно отличались (от 83,5 мм у самого маленького листа I типа до 262,4 мм у длинных листьев II типа). Средние значения линейного размера для I, II и III типов составили соответственно 97,6, 253,7 и 194,2 мм.

Результаты измерений геометрических характеристик транспортных систем листьев

Тип листа	i	N_i	L_i	D_i	l_i
I	1	3	158,3	0,42	52,77
I	2	22,3	338,3	0,33	15,17
I	3	143	1440,4	0,26	10,07
I	4			0,23	
I	5			0,20	
II	1	1	217,0	2,78	217,0
II	2	34,67	1214,83	0,85	35,04
II	3	90,67	1345,93	0,67	14,84
II	4	143,67	1701,1	0,34	11,84
II	5	287,3	2016,83	0,48	7,02
III	1	2,67	89,97	2,63	33,70
III	2	7,33	278,9	1,45	38,05
III	3	36	822,87	0,64	22,86
III	4	176	1928,3	0,43	10,96
III	5			0,36	

В целях сравнительного исследования геометрических и транспортных характеристик сосудисто-волокнистых пучков разных типов по результатам измерений проведены расчеты общей площади S (мм^2) поперечного сечения всех жилок порядка i (рис. 1).

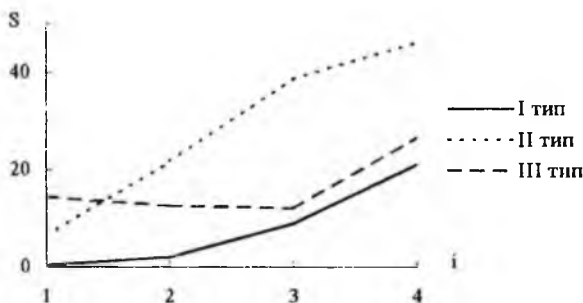


Рис. 1

Зависимость общей площади поперечного сечения от порядка ветвления

Поскольку при транспорте растительного сока обмен между сосудами и окружающими клетками происходит через поверхность сосудов рассчитаны значения общей площади боковой поверхности P (мм^2) всех жилок порядка i , рассматриваемых как круговые цилиндры с площадью основания s_i и высотой l_i (рис. 2).

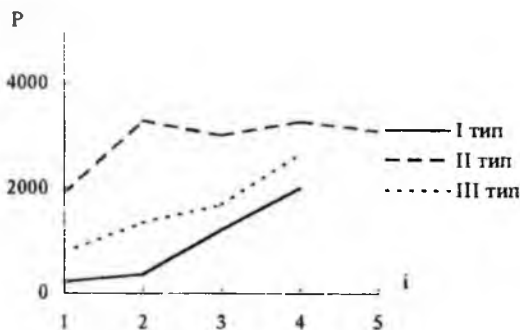


Рис. 2

Зависимость общей площади поверхности от порядка ветвления

Так как сосуды флоэмы и ксилемы занимают не весь просвет жилки, на основании предположения о подобии их площадей при ветвлении действительные значения площадей сечения и боковой поверхности проводящих путей листа пропорциональны соответствующим значениям для всей жилки. Поскольку в дальнейших обсуждениях будут фигурировать только отношения длин и площадей, полученные значения могут использоваться без привлечения данных о коэффициентах подобия.

Расчеты среднего числа $n(i)$ сосудов $n+1$ порядка, отходящих от каждого сосуда порядка i , по формуле

$$n(i) = N_{i+1}/N_i \quad (1)$$

показали, что для I типа эта зависимость монотонно убывающая, для III – возрастающая, а для II ветвление практически дихотомическое, начиная с $i = 2$ (рис. 3). Внутри каждого типа соответствующие закономерности сохраняют свой характер для листьев разных размеров.

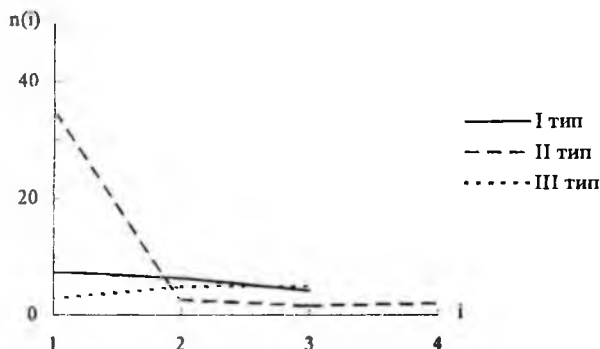


Рис. 3

Число ветвей, отходящих от ветви i -го порядка

Используя результаты измерений, проверим соответствие ветвящихся транспортных систем листьев геометрическим характеристикам оптимальных ветвящихся трубопроводов, модель которых построена в [11] на основе гипотез подобия, ограниченности объема транспортируемой жидкости и минимума гидравлического сопротивления. Для этого рассмотрим ветвящийся трубопровод, доставляющий жидкость в некоторую область плоскости G_1 . В процессе ветвлений площади и диаметры труб убывают, так что самые мелкие трубки достаточно густо и равномерно покрывают заданную область G_1 , обеспечивая доставку транспортируемой жидкости в окрестность любой точки области. Принимаются следующие основные гипотезы:

1. Трубопровод построен по иерархическому принципу – каждая труба i -го порядка разветвляется на $n(i)$ трубы $i+1$ -го порядка, $i=1, 2, \dots, N$.

2. Все трубы i -го порядка имеют одинаковые длины l_i и площади поперечного сечения s_i .

3. Область G_i , питаемая любой трубой i -го порядка, делится при ветвлении этой трубы на $n(i)$ равные по площади симметричные области G_{i+1} , питаемые трубами $i+1$ -го порядка, которые геометрически подобны исходной области G_i .

4. Искомый трубопровод обладает следующим свойством оптимальности: его полное гидравлическое сопротивление минимально среди всех трубопроводов, удовлетворяющих гипотезам 1-3 и имеющих заданный объем.

Выполнение гипотезы 3 при большом значении N обеспечивает доставку транспортируемой жидкости в заданную сколь угодно малую окрестность любой точки области G_1 . Из гипотезы 4 следует, что все трубы прямые. Было показано [11], что для плоского трубопровода отношение площадей и длин труб последовательных порядков определяется соотношениями:

$$l_i/l_{i+1} = \sqrt{n(i)}, \quad s_i/s_{i+1} = n(i)^{2/(1+r)}, \quad (2)$$

где $n(i)$ определяется по формуле (1), $r=2$, если движение жидкости по трубопроводу можно считать пуазейлевским (объемный расход пропорционален квадрату площади сечения), и $r=1$, если течение определяется законом фильтрации в изотропной пористой среде (расход пропорционален площади). Применение критерия (2) к геометрическим параметрам артериальной системы человека [4] позволило выявить оптимальный характер их строения и лучше понять принципы работы сосудистой системы разных органов. Относительно механики движения растительного сока по сосудисто-волокнистому пучку известно немного, поэтому проверим выполнение оптимального критерия (2) для случаев $r=1$, $r=2$ в предположении, что ветвящиеся трубопроводы листа являются оптимальными, обеспечивают минимальное сопротивление движению жидкости при фиксированном объеме.

Результаты сопоставления отношений средних длин l_i ветвящегося трубопровода для листьев I, II и III типов приведены на рис. 4. Видно, что теоретические значения лежат в диапазоне от минимальных до максимальных значений, полученных для листьев одного типа, но разных линейных размеров.

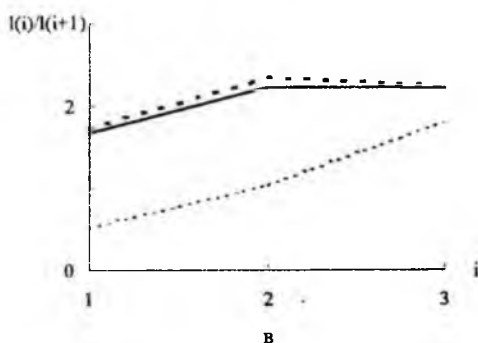
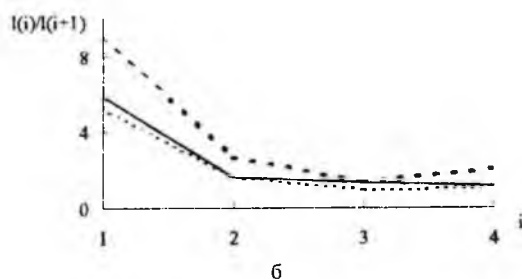
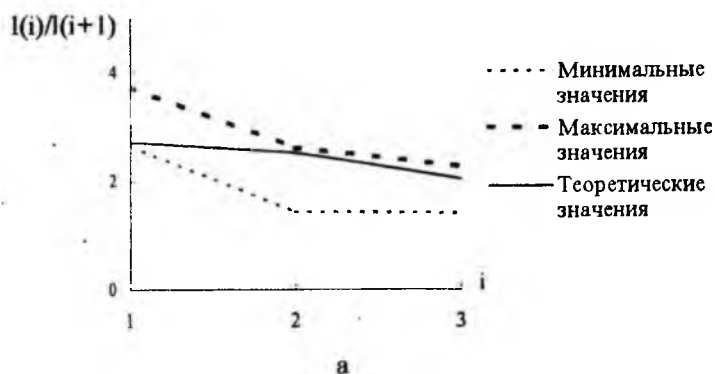
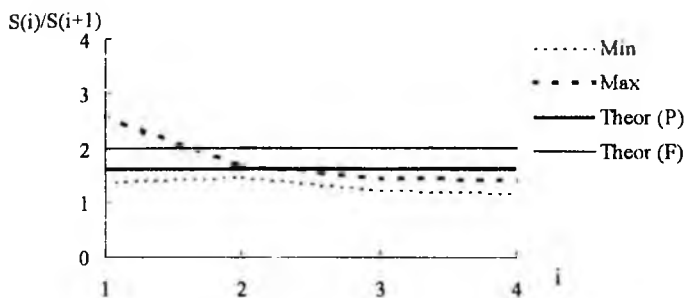
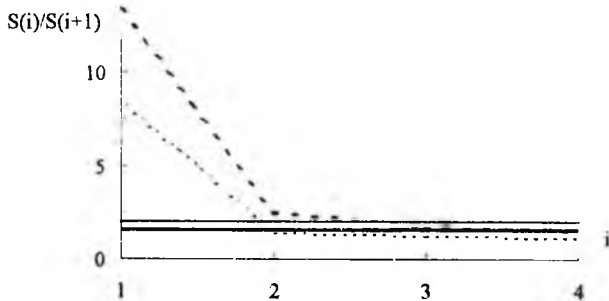


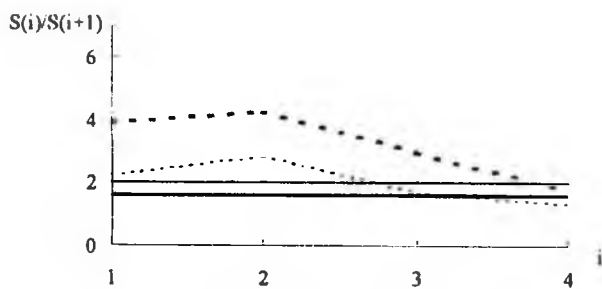
Рис. 4
Сети I типа (а), II типа (б) и III типа (в).
Зависимость l_i/l_{i+1} от порядка ветвления



а



б



в

Рис. 5

Сети I типа (а), II типа (б) и III типа (в).
Зависимость S_i/S_{i+1} от порядка ветвления

На рис. 5 показаны нижняя и верхняя границы диапазона отношений средних площадей жилок (квадратов средних диаметров) для типов I-III. Непрерывные линии соответствуют расчетам по модели оптимального трубопровода при фильтрационном (F) и пуазейлевском (P) течениях. Для сетей I типа результаты измерений ближе к значениям, рассчитанным для течения Пуазейля. Для II типа обе теоретические кривые отражают реальное строение трубопровода листа, начиная со 2-го порядка ветвления. Жилки 1-го порядка не укладываются в оптимальную модель, поскольку их размеры больше связаны с геометрией самого листа. Для листьев III типа строение жилок соответствует обоим моделям, начиная с 3-го порядка.

Результаты измерений позволили выявить различия геометрических и транспортных характеристик сосудисто-волокнистых пучков и показали, что проводящие системы листьев сконструированы природой в согласовании с моделью оптимального ветвящегося трубопровода, обеспечивающего при фиксированном объеме труб минимум сопротивления движению жидкости. Морфологически проводящие пути растений отличаются от кровеносных сосудов, поскольку представляют собой совокупность параллельно расположенных капиллярных трубок с шероховатыми поверхностями, пронизанными многочисленными порами. Тем не менее результаты наших измерений и расчетов в сравнении с аналогичными данными для артериальных, капиллярных и лимфатических ветвящихся русел показывают, что законы оптимального строения транспортных систем растений и животных, видимо, едины. Дальнейшие исследования могут быть проведены с привлечением дополнительных данных о гидродинамике ксилемных и флоэмных потоков.

Список литературы: 1. Розен Р. Принцип оптимальности в биологии. М.: Мир, 1969. 226 с. 2. Образцов И. Ф. Оптимальные биомеханические системы. М.: Наука, 1989. 234 с. 3. La Barbera M. Principles of design of fluid transport systems in zoology // Science. 1990. Vol. 249. P.992-1000. 4. Мамисашвили В.А., Бабунашвили М.К. Критерий оптимального функционирования подсистем крупных и мелких пиллярных артерий // Физиол. журн. СССР. 1975. Т.61, №10. С.1501-1506. 5. Singhal S., Henderson R. Morphometry of the human pulmonary arterial tree// Circulation Res.. 1973. Vol. 33, №2. P.190-197. 6. Гендельс Т.В. Приготовление препаратов просветленных листьев для изучения их жилкования // Ботанич. журн. 1987. Т.72, №3. С.397-396. 7. Гамалей Ю.В. Флоэма листа. Л.: Наука, 1990. 144 с. 8. Раздорский В.Ф. Архитектоника растений. М.: Советская наука, 1955. 432 с. 9. Васильев Б.Р. Строение листа древесных растений различных климатических зон. М.: Изд-во МГУ, 1988. 207 с. 10. Атлас по описательной морфологии высших растений. Лист. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 303 с. 11. Черноусько Ф.Л. Оптимальная структура ветвящихся трубопроводов // Прикл. матем. и мех. 1977. Т. 41, №2. С.376-383.

Поступила в редколлегию 22.07.98

Н.Г. КОСУЛИНА, Н.А. ЧИКИНА

О ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ЖИВОТНЫХ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ СОБСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ТКАНЕЙ (РАДИОТЕРМОМЕТРИЯ)

Одним из основных тестов, которые характеризуют физиологическое состояние организма и природную резистивность сельскохозяйственных животных, является их температура. Это особенно важно в период акклиматизации в условиях жаркого климата, поскольку понятие теплоустойчивости в большинстве случаев связывают со способностью сохранения температурного гомеостаза при действии на организм высоких температур, а также для ранней диагностики заболеваний сельскохозяйственных животных на всех стадиях их жизненного цикла [1].

Существующие контактные методы измерения температуры сельскохозяйственных животных – максимальный термометр Цельсия, электротермометр имеют ряд недостатков: длительное время измерения – до 8 мин (термометр Цельсия); существенная погрешность измерения, вызванная шероховатостью кожи; наличие окисных пленок (электротермометр). Кроме того, эти способы измерения температуры требуют фиксации животных на достаточно длительное время.

В данной работе предлагается использовать для диагностики метод радиометрии, основанный на законе Стефана – Больцмана (частный случай закона Планка), который позволяет провести надежную передачу температуры с погрешностью, несущественно превышающей 10^{-4} измеряемой величины без ограничений [2,3].

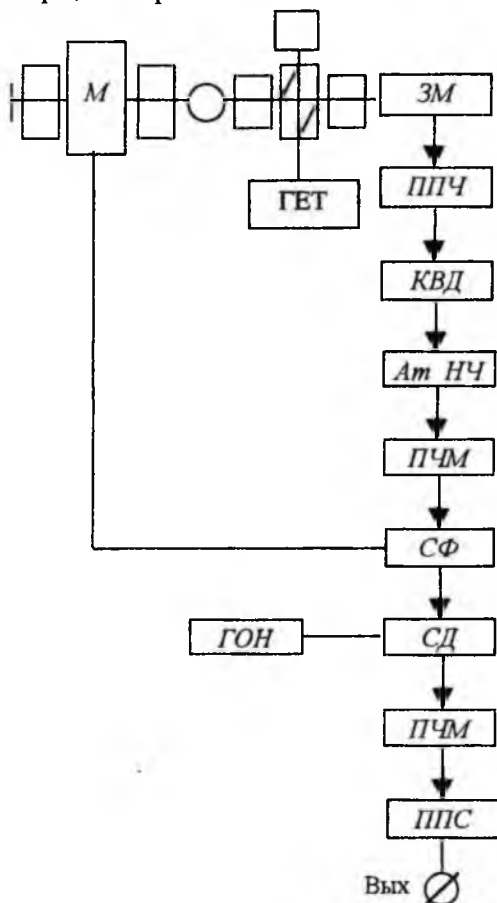
Основанный на свойстве биологических тканей излучать электромагнитные волны, метод радиометрии позволяет обнаружить повышение температуры внутренних тканей, которая сопутствует воспалительным процессам или порождается усиленным метаболизмом при перерождении тканей, что представляет основу диагностики. Неоспоримым достоинством использования радиотермометрии является тот факт, что изменение внутренней температуры наступает раньше, чем структурные изменения тканей, которые могут быть обнаружены с помощью ультразвукового или рентгенологического исследования, т.е. имеется принципиальная возможность обнаружить патологию на ранних стадиях заболевания.

Кроме того, достоинством этого метода является его полная безвредность для животного и обслуживающего персонала в силу самого принципа действия радиометра. Поэтому измерения могут повторяться многократно.

Однако сложность использования метода радиометрии с технической точки зрения заключается в том, что мощность излучения находится в пределах 10^{-15} – 10^{-10} Вт, и для уверенного приема сигнала требуются специальные методы его обработки. Кроме того, необходимо учитывать высокие требования и точность определения температуры ($\pm 0,1^\circ\text{C}$), а также то, что метод должен обладать высоким быстродействием (15 с) и помехозащищенностью.

Ввиду отсутствия промышленных радиотермометров, для достижения поставленной цели нами был разработан радиотермометр, в котором были решены задачи по отысканию его структуры. Наряду со всеми достоинствами компенсационного радиотермометра он обладает нечувствительностью к флуктуациям коэффициента усиления и воздействию наиболее вероятной узкополосной помехи [4,5].

Функциональная схема разработанного радиотермометра приведена на рисунке, где М – модулятор, СМ – смеситель, УПЧ – усилитель промежуточной частоты, КВД – квадратичный детектор, Атт НЧ – аттюнатор низкой частоты, УЧМ – усилитель частотной модуляции, СФ – синхронный фильтр, СД – синхронный детектор, УПТ – усилитель постоянного тока, ГОН – генератор опорного напряжения.



Функциональная схема модуляционного радиотермометра

Разработанный радиотермометр обладает следующими техническими характеристиками:

- время измерения 15 с;
- точность измерения температуры $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$;
- частота 37,5 ГГц;
- потребление от сети 220 В-15 Вт;
- масса прибора менее 10 кг.

Для апробации метода радиотермометрии и разработанного радиотермометра были проведены измерения температуры тела у свиней в опытном хозяйстве ХГТУСХ. Исследования проводились в одинаковых условиях кормления и содержания, которые приняты в хозяйстве. Матки всех пород были одинакового физиологического состояния (последняя неделя подсоса).

Учитывая континентальный климат Украины и жаркое лето, нами были изучены клинические показатели свиней в условиях опытного хозяйства. Для этого в наиболее жаркий период года (июнь, июль, август) проводились промеры температуры тела у свиней дважды в день: первое – в 7 часов утра (в зоне комфорта), другие – в 13 часов.

Температура тела определялась у маток пород украинской степной белой и украинской степной рябой. Контрольное измерение температуры животных определяли ректально термометром Цельсия.

В таблице приведены результаты исследований.

Порода	Группы животных	Месяц исследования	Количество животных	Утро			День				Длительность L, мин
				t воздуха	t тела животных	t тела животных контроль	t воздуха	t тела животных	t тела животных контроль	Радиотермометр	
Укр.	Матки	Июнь	10	22	39,1	39,17	30,4	39,0	39,04	19	100
Степ.	Матки	Июнь	10	24	39,1	39,18	31,5	39,2	39,23	15	110
Рябая	Матки	Июнь	10	15	39,0	39,07	29,5	39,0	39,07	14	106
Укр.	Матки	Июнь	10	22	38,9	38,94	30,4	38,9	38,93	16	107
Степ.	Матки	Июнь	10	24	39,1	39,11	31,2	39,1	39,14	15	110
Белая	Матки	Июнь	10	16	38,9	38,94	29,5	38,9	38,94	15	108

Из таблицы видно, что температурный гомеостаз у свиней не нарушается при традиционном содержании маток в полуоткрытых помещениях. Температура тела при измерениях радиотермометром и термометром Цельсия была в пределах нормы во всех группах как утром, так и днем. Точность

измерения температуры у животных радиотермометром находится в пределах допустимой погрешности $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

С учетом фиксации длительность одного цикла измерения температуры 10 свиней радиотермометром составляет 14-15 мин, а контрольным термометром Цельсия – от 100 до 110 мин.

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Радиотермометрический метод позволяет проводить измерение температуры тела животных и может быть рекомендован для тестирования сельскохозяйственных животных.

2) Погрешность измерения температуры радиотермометром находится в пределах допустимой и составляет $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

3) Применение метода радиотермометрии позволяет существенно сократить время тестирования при периодическом контроле состояния животных в ветеринарной практике.

Список литературы: 1. Клиническая диагностика внутренних незаразных болезней сельскохозяйственных животных /А.М. Смирнов и др. Л.: Колос, 1981. 447 с. 2. Планк М. Избранные труды. М.: Наука, 1975. 168 с. 3. Есепкина И.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.И. Радиотелескопы и радиотермометры. М.: Наука, 1973. 314 с. 4. Черенков А.Д., Ванькевич В.В., Косулина Н.Г. Анализ помехоустойчивости синтезированного радиотермометра при воздействии узкополосной помехи /Питання електрифікації сільського господарства. Харків: ХДТУСГ, 1998. С. 46-50. 5. Черенков А.Д., Ванькевич В.В., Косулина Н.Г. Синтез радиотермометра для измерения температуры тела животных. /Питання електрифікації сільського господарства. Харків: ХДТУСГ, 1998. С. 51-58.

Поступила в редколлегию 24.09.99

Е.В. БОДЯНСКИЙ, О.В. ЗАПОРОЖЕЦ,
Т.В. ПУТЯТИНА, О.Е. РАГУЛИНА

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

Важнейшей проблемой, возникающей при обработке больших массивов наблюдений, является задача сжатия данных в целях выявления наиболее существенной информации и латентных факторов, определяющих суть изучаемого явления, что в конечном итоге преследует цель сделать исходные данные обозримыми, достаточно просто интерпретируемыми для исследователя.

Одним из наиболее эффективных подходов к решению этой проблемы является аппарат факторного анализа [1-3], применяющийся в задачах обработки эмпирических данных в самых различных областях: психологии, социологии, экономике, технике, медицине, криминалистике – там, где получение информации связано с массовыми обследованиями, а возможность однозначной интерпретации данных отсутствует.

Основная идея факторного анализа, предполагающая наличие не известных заранее латентных факторов, состоит в следующем: наблюдая большое число измеряемых параметров-факторов, которые в основном определяют их поведение, или иначе: зная большое число функций измеряемых параметров, определить соответствующие значения общих для всех функций аргументов-факторов и установить вид этих функций.

Исходной информацией для факторного анализа является $(t \times n)$ - матрица наблюдений

$$X_t = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & & x_{2n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ik} & \dots & x_{in} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{t1} & x_{t2} & \dots & x_{tn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1^T \\ x_2^T \\ \vdots \\ x_i^T \\ \vdots \\ x_t^T \end{pmatrix}, \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, t, \\ k = 1, 2, \dots, n, \end{matrix} \quad (1)$$

образованная массивом из t n -мерных векторов $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T$, и ее автокорреляционная $(n \times n)$ -матрица

$$R_t = \frac{1}{t-1} \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}_t)(x_i - \bar{x}_t)^T = \frac{1}{t-1} \sum_{i=1}^t \tilde{x}_i \tilde{x}_i^T, \quad (2)$$

где $\bar{x}_i = \frac{1}{l} \sum_{t=1}^l x_{it}$, $\tilde{x}_i = x_i - \bar{x}_i$ — центрированные относительно среднего

исходные данные.

Одним из наиболее распространенных и эффективных методов нахождения факторов является метод главных компонент, или компонентный анализ, широко применяющийся в задачах сжатия данных, распознавания образов, кодирования обработки изображений, спектрального анализа и т.д., известный в теории распознавания образов еще как преобразование Карунена-Лозва.

Задача компонентного анализа состоит в проецировании входных данных из исходного n -мерного пространства в m -мерное ($m < n$) выходное и сводится к нахождению системы $w^1, w^2, \dots, w^m$ ортонормальных собственных векторов матрицы R_l таких, что $w^1 = (w_1^1, w_2^1, \dots, w_n^1)^T$ соответствует наибольшему собственному значению λ_1 матрицы R_l , $w^2 = (w_1^2, w_2^2, w_3^2, \dots, w_n^2)^T$ второму по величине собственному значению λ_2 и т.д. Другими словами, речь идет о нахождении решения матричного уравнения

$$(R_l - \lambda_k I)w^k = 0 \quad (3)$$

такого, что $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_n \geq 0$ и $\|w^k\|^2 = 1$. Здесь I — $(n \times n)$ -единичная матрица, а m определяется числом собственных значений, удовлетворяющих, например, условию $\lambda_k \geq 1$ [1].

Таким образом, в алгебраических терминах решение факторной задачи тесно связано с проблемой собственных значений и нахождением ранга корреляционной матрицы; в геометрическом смысле — это задача перехода в пространство более низкой размерности с минимальной потерей информации; в статистическом смысле — это задача последовательного определения множества собственных векторов $w^1, w^2, \dots, w^m$ путем последовательной максимизации каждого из частных функционалов, входящих в глобальный критерий

$$J = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l (\tilde{x}_i^T w^k)^2 \quad (4)$$

при ограничениях $w^{kT} w^i = 0$ при $k \neq i$, $w^{kT} w^k = 1$.

Первая главная компонента этого множества вектор w^1 находится путем максимизации выражения

$$J^1 = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l (x_i^T w^1)^2 \quad (5)$$

с помощью метода неопределенных множителей Лагранжа. Далее из каждого вектора x_i вычитается его проекция на первую главную компоненту и вычисляется первая главная компонента остатков, которая является второй главной компонентой исходных данных и ортогональна первой. Третья главная компонента вычисляется путем проекции каждого входного вектора на первую и вторую главную компоненты, вычитания этой проекции из каждого x_i и нахождения первой главной компоненты полученных остатков, которая и есть третья главная компонента исходных данных. Остальные главные компоненты вычисляются рекурсивно согласно описанной стратегии.

Существует достаточно развитое программное обеспечение для решения факторной проблемы, объединяемое общим недостатком: необходимостью априорного задания матрицы X , фиксированной размерности. Если же данные поступают последовательно в реальном масштабе времени, стандартные процедуры факторного анализа становятся неработоспособными.

В связи с этим представляется целесообразным использование рекуррентных процедур для нахождения в реальном времени собственных векторов матрицы R путем последовательной обработки поступающих входных сигналов $x_1, x_2, \dots, x_t, x_{t+1}, \dots$, без вычисления самой корреляционной матрицы. Такой подход может оказаться весьма эффективным при работе с объектами, характеризующимися дрейфом параметров, а его развитие связано, прежде всего, с адаптивными и нейросетевыми технологиями [4-7].

Для нахождения первой главной компоненты Оя предложил [8] алгоритм самообучения линейного нейрона типа Адалина Уидроу [4, 6], приведенного на рис. 1. Для предварительно центрированных данных алгоритм Оя имеет вид

$$\begin{cases} w_{t+1}^1 = w_t^1 + \gamma_{t+1} (\tilde{x}_{t+1} - \varphi_{t+1}^1 w_t^1) \varphi_{t+1}^1, \\ \varphi_{t+1}^1 = \tilde{x}_{t+1}^T w_t^1, w_0^1 \neq 0, \varphi_1^1 = \tilde{x}_1^T w_0^1, \end{cases} \quad (6)$$

где γ_{t+1} – параметр шага поиска, выбираемый достаточно малым для устойчивой работы алгоритма.

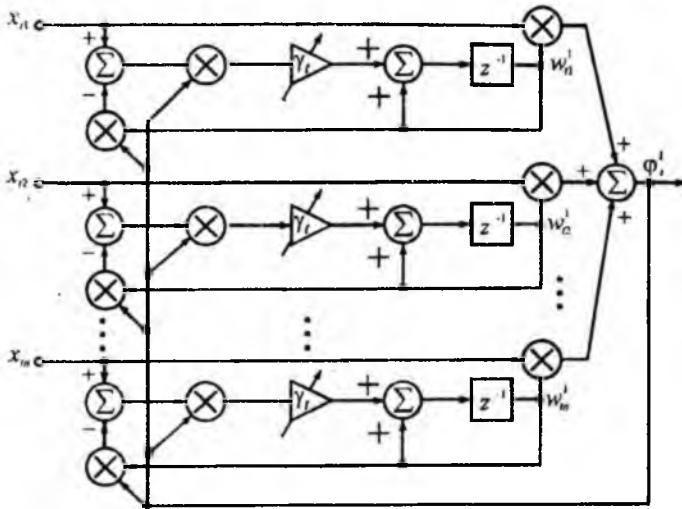


Рис.1 Нейрон Оя

В [9] была доказана сходимость этого алгоритма в предположении, что шаг поиска выбирается в соответствии с условиями Дворецкого, в связи с чем представляется целесообразным рассчитывать этот параметр согласно алгоритму [10]

$$\gamma_{t+1} = \gamma_t^{-1}; \quad r_{t+1} = \alpha r_t + \|\tilde{x}_{t+1}\|^2, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, \quad (7)$$

где α – параметр, определяющий компромисс между следящими и сглаживающими свойствами процедуры (6). Несложно видеть, что при $\alpha = 0$ алгоритм Оя приближается к алгоритму обучения Уидроу-Хоффа [6], а при $\alpha = 1$ является процедурой стохастической аппроксимации типа Гудвина-Рэмеджа-Кейнеса [4]. Доказано также, что алгоритм Оя обеспечивает нормирование вектора w_t^1 так, как это показано на рис. 2

($\|w_t^1\|^2 = 1$), сам вектор w_t^1 является собственным вектором матрицы R_t ,

а выходной сигнал нейрона Оя ϕ_t^1 характеризуется максимально возможной дисперсией, т.е. содержит максимум информации о входном сигнале $\tilde{x}_t$.

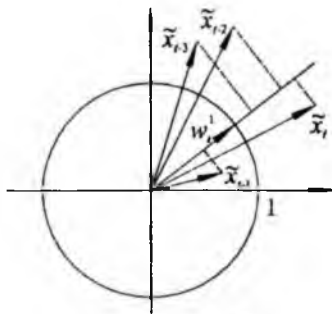


Рис. 2. Множество векторов и первая главная компонента

Для нахождения m главных компонент в реальном времени можно воспользоваться идеей рекурсивного их вычисления по описанной выше стратегии и обобщенным алгоритмом Хебба-Сэнгера [4,12], который в модифицированной форме имеет вид:

$$\begin{cases} w_{t+1}^l = w_t^l + \gamma_{t+1} \tilde{x}_{t+1}^l \Phi_{t+1}^l, \\ \hat{x}_{t+1}^l = \tilde{x}_{t+1}^{l-1} - \Phi_{t+1}^l w_t^l, \\ \hat{x}_{t+1}^0 = \tilde{x}_{t+1}, l = 1, 2, \dots, m, m < n, \\ \gamma_{t+1} = r_{t+1}^{-1}, r_{t+1} = \alpha r_t + \|\tilde{x}_{t+1}\|^2, 0 \leq \alpha \leq 1. \end{cases} \quad (8)$$

Видно, что первая главная компонента вычисляется с помощью нейрона Оя, далее проекции входных векторов на w^1 вычитаются из входов и остатки обрабатываются вторым нейроном и т.д.

На рис. 3 приведена схема искусственной нейронной сети, набранной из нейронов Оя и реализующей модифицированный обобщенный алгоритм Хебба-Сэнгера. Во входном слое сети проводится центрирование векторов x_t согласно алгоритму

$$\begin{cases} \tilde{x}_{t+1} = x_{t+1} - \bar{x}_{t+1}, \\ \bar{x}_{t+1} = \bar{x}_t + \frac{1}{t+1} (x_{t+1} - \bar{x}_t). \end{cases} \quad (9)$$

Далее сигналы $\tilde{x}_t$ обрабатываются набором из m нейронов Оя и, наконец, выходной слой образован линейными элементами с зоной нечувствительности δ , позволяющими выделить наиболее информативные сигналы Φ_t^l и отсеять шум.

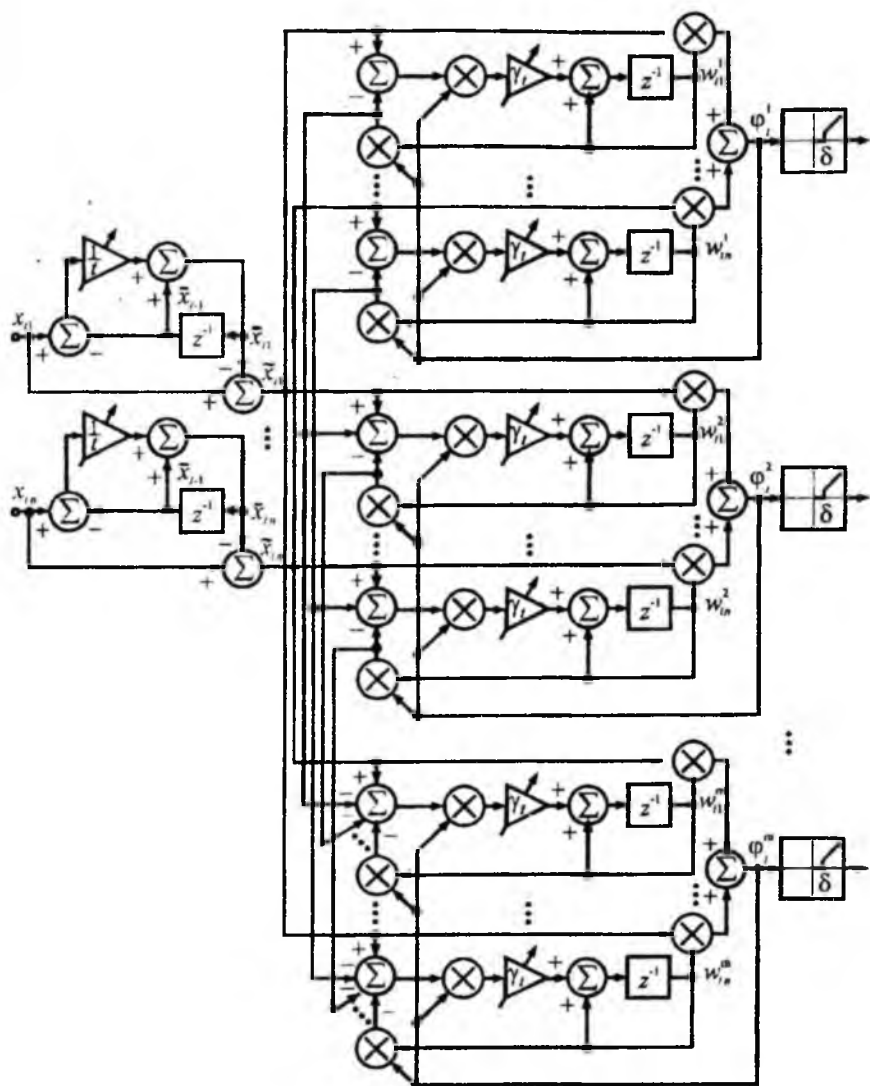


Рис. 3. Нейросетевая модель факторного анализа

Рассмотренная нейросетевая модель факторного анализа позволяет в реальном времени обрабатывать большие массивы информации и обеспечивать ее сжатие с требуемой степенью точности.

- Список литературы:** 1. Иберла К. Факторный анализ. М.: Статистика, 1980. 398 с. 2. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. М.: Мир, 1967. 144 с. 3. Браверман Э.М., Мучник Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. М.: Наука, 1983. 464 с. 4. Cichocki A., Unbehauen R. Neural Networks for Optimization and Signal Processing. Stuttgart: Teubner, 1993. 526 p. 5. *Advances in Intelligent Control* / Ed. by C.J. Harris. London: Taylor and Francis. 1994. 373 p. 6. Rojas R. Neural Networks. A Systematic Introduction. Berlin: Springer-Verlag. 1995. 238 p. 7. Bishop C.M. Neural Networks for Pattern Recognition Oxford: Clarendon Press. 1995. 482 p. 8. Oja E. A simplified neuron model as a principal component analyzer // J. of Math. Biology. 1982. №18. P. 267 — 273. 9. Chen T., Hua Y., Yan W.-Y. Global convergence of Oja's subspace algorithm for principal component extraction // IEEE Trans. on Neural Networks. 1998. №9. P. 58-67. 10. Бодянский Е.В., Плисс И.П., Соловьева Т.В. Многошаговые оптимальные упреждители многомерных нестационарных стохастических процессов // Докл. АН УССР. 1986. А. № 12. С. 47-49. 11. Goodwin G. C., Ramadge P.J., Caines P.E. A globally convergent adaptive predictor // Automatica. 1981. №17. P. 135-140. 12. Sanger T. Optimal unsupervised learning in a single-layer linear feedforward neural network // Neural Networks. 1989. №2. P. 459-473.

Поступила в редколлегию 03.06.99

С.В. ГЛУШАКОВ, В.А. ДРУЗЬ, В.Н. САМСОНКИН

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОЙ СИСТЕМЕ

Введение

Рассматривая управление в целостной системе "человек - среда - машина", следует указать, что наиболее сложным, неизученным и ненадежным звеном является человек. Будучи включенным в систему автоматизированного контроля, он, с одной стороны, выступает как объект контроля, а с другой - как контролирующая система. Двойственность такого положения в ряде случаев не позволяет решить задачу контроля деятельности человека традиционными средствами и методами.

Человек, управляющий техническими средствами (машинами), является аналогом самоорганизующегося автомата. Превосходя автомат по количеству выполняемых функций, человек уступает ему по быстродействию, объему хранимой информации, скорости перехода из одного состояния в другое, подвержен утомлению, его здоровью наносят вред многие факторы среды. Таким образом, отдельные характеристики автоматических устройств значительно превосходят возможности человека.

Все это привело к попытке моделирования интеллектуальной деятельности человека в целях создания систем искусственного интеллекта. Во второй половине XX века это направление получило бурное развитие. Появились "интеллектуальные" машины и системы, основанные на высокопродуктивных ЭВМ. Они обеспечивают решение ряда задач (роботы, "автопилот", экспертные и информационно - советующие системы и т.д.). Первоначально круг этих задач был достаточно узким, но со временем они становятся разнообразнее и сложнее, искусственный интеллект приобретает все более схожие черты с реальным. Появление микропроцессоров и их стремительный прогресс показали не только принципиальную разрешимость, но и экономическую эффективность массового использования систем искусственного интеллекта. Создание сложных автоматизированных систем и устройств, которые управляются человеком, потребовало изучения и формализации самой психической деятельности человека.

Разработка систем контроля за состоянием человека - оператора и оценки возможности его использования в конкретных условиях привели, с одной стороны, к необходимости решения задачи индивидуальной нормы и функционального оптимума (А), а с другой - к необходимости установления принципов выбора и формирования решения в различных

условиях деятельности (В). Решение задачи (А) устанавливает допустимые границы использования человека-оператора как по силе воздействия среды, так и по длительности пребывания в ней. Решение задачи (В) позволяет построить автоматы, обеспечивающие накопление и переработку опыта аналогично реальному интеллекту. Сама постановка этих задач 40-50 лет назад вызывала однозначный отрицательный ответ, однако развитие научно - технического прогресса сделало реальной не только постановку, но и во многом успешное их решение.

Основная часть

(А). Контроль за состоянием человека в системе "человек - среда - машина" длительное время осуществлялся по принципу сбора и анализа информации от функциональных систем организма, что позволило установить их активное участие и, естественно, влияние на деятельность человека. Однако попытка получить строгую закономерность связей между деятельностью отдельных функциональных систем наталкивалась на ее неоднозначность и противоречивость у разных индивидуумов и даже у одного из них в различных состояниях. Стремление увеличить число контролируемых систем в целях углубления получаемой информации только усложняло сам анализ и работу человека-оператора в реальных условиях его профессиональной деятельности.

Высокая вариативность параметров, характеризующих контролируемые функциональные системы, обратила внимание на тот факт, что каждая из них принимает участие в обеспечении конечного результата деятельности, а ее активность зависит от текущего межфункционального взаимоотношения, индивидуальных особенностей структуры этих взаимоотношений и текущего состояния. Изменение (вариация) параметров функциональной системы организма носит статистический характер с индивидуальной вариацией как математического ожидания, так и дисперсии значений текущих характеристик контролируемого сигнала.

Усредненные нормативы, принятые в медицинской диагностике, существенно перекрывают индивидуальные показатели и в 30% случаев оказываются неверными применительно к отдельному человеку. Следовательно, использование традиционных (усредненных) норм в автоматизированных системах контроля текущего состояния человека является неперспективным в силу высокой неточности оценки.

Увеличение же точности оценки требует установления причин вариации контролируемых параметров. А это приводит к необходимости разделения полученной информации от какой-либо функциональной системы на ее составляющие. Это можно интерпретировать как вариацию параметра в пределах конкретного состояния и относительно состояния. Анализ существующих медико-технических средств съема информации показал

отсутствие методов разделения вариации контролируемых параметров на две составляющие. Данный вопрос и явился предметом исследования.

Какова природа вариации параметров функциональной системы? Успехи, достигнутые в физиологической теории функциональных систем [1, 2], показывают, что конечный результат деятельности является отражением мультипараметрического участия всех функциональных систем организма [1], отношение которых строится по принципу "запрос - удовлетворение". Структура таких взаимоотношений может быть описана математической моделью Вольтерра - Лотка [3]. Анализ ее поведения позволяет наблюдать периодичность в активности системы в зависимости от предъявляемого к ней запроса: Удовлетворение запроса может быть обеспечено изменением: а) интенсивности всей системы удовлетворения; б) долевого участия функциональных систем организма в мультипараметрическом обеспечении конечного результата деятельности. В определенном состоянии взаимоотношения этих механизмов имеют конкретные границы колебаний. Конкретному запросу соответствовала бы строго постоянная статистика удовлетворения за счет а) или б). Изменение этой статистики свидетельствует об определенном изменении долевого участия мультипликативного компонента.

Таким образом, если из всей информации, которая характеризует состояние системы, выделить контролируемый параметр p , то любое его изменение на один шаг будет отражать состояние системы в целом. Это позволит оценить текущее состояние и возможные варианты перехода к новому. Практически выделяется вариация параметра $p \in [p_{\min}, p_{\max}]$ в пределах определенного состояния как равновозможная реакция при обеспечении конечного результата.

В целях формализации данного подхода осуществим дискретизацию диапазона $[p_{\min}, p_{\max}]$ с определенным шагом δ_g . В результате получим $L+1$ значение:

$$\begin{aligned} p^{(1)} &= p_{\min}, p^{(2)} = p_{\min} + \delta_g, p^{(3)} = p_{\min} + 2\delta_g, \dots \\ p^{(L+1)} &= p_{\min} + L\delta_g. \end{aligned} \quad (1)$$

Величина шага δ_g зависит от необходимой точности, которая, с одной стороны, не должна превышать диапазон толерантности, а с другой - соответствовать введенной шкале (или мере). При этом значение p также равномерно распределено по дискретам $p^{(1)}, p^{(2)}, \dots, p^{(L+1)}$.

Пусть за время контроля состояния человека от начального (t_B) до конечного (t_e) моментов времени осуществлено I измерений параметра конечного результата $\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_I$, где I определяется из формулы

$$I = [t_{disk} \cdot (t_E - t_B)] + 1,$$

здесь t_{disk} - период дискретизации по времени;

$[]$ - целая часть числа.

Вычислим вариацию p_l , которую необходимо отнести к тому или иному $p^{(l)}$:

$$\text{var } p_l = p_l(t) - \bar{p}_l, \text{ где } l=1, 2, \dots, (L+1). \quad (2)$$

Здесь $p_l(t)$ - дискреты оптимального поведения человека-оператора (оптимального управления техническими средствами).

Обозначим через $M^1 = \{\mu_1^1, \mu_2^1, \dots$ множество, элементы которого являются $\text{var } p_l$, близкие к $p^{(1)}$; через $M^2 = \{\mu_1^2, \mu_2^2, \dots$ - множество, элементы которого являются $\text{var } p_l$, близкие к $p^{(2)}$; ...; через $M^{L+1} = \{\mu_1^{L+1}, \mu_2^{L+1}, \dots$ - множество, элементы которого являются $\text{var } p_l$, близкие к $p^{(L+1)}$.

Процесс сортировки множества $\text{var } p_1, \text{var } p_2, \dots, \text{var } p_L$ по множествам $M^1, M^2, \dots, M^{L+1}$ осуществляется по следующему правилу:

$$\text{var } p_l \in M^l, \text{ если } \left| \bar{p}_l - p^{(l)} \right| < \frac{\delta_g}{2},$$

где $p^{(l)}$ - определены из (1).

После того, как сортировка закончится, можно статистически обработать множества M^l ($l = 1, (L+1)$). Пусть $|M^l|$ - мощность «заполненного» множества M^l , т.е. количество $\text{var } p_l$, отнесенных к $p^{(l)}$. Известно, что при выборках, больших 30, закон Стюдента практически совпадает с нормальным. Поэтому «заполненными» будем называть те множества M^l , для которых $|M^l| \geq 30$. Именно для этих множеств определяем среднее арифметическое и среднеквадратичное отклонение по формулам:

$$\langle \text{var } p \rangle_l = \frac{\sum_{j=1}^{|M^l|} \mu_j^l}{|M^l|}; \quad \sigma_{\text{var } p_l} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{|M^l|} (\mu_j^l - \langle \text{var } p \rangle_l)^2}{|M^l|}}. \quad (3)$$

Эти формулы задают для всех идентифицированных 1 поверхность проявления реакции человека или пространство его состояния. Данная поверхность отклика отражает индивидуальные особенности поведения человека или отдельной функциональной системы.

Разработка технического устройства, обеспечивающего в реальном масштабе времени систематизацию контролируемого параметра p по приведенной выше схеме, не представляет сложности.

Одно и то же значение параметра p может встречаться в различных состояниях организма (рис. 1) от нормального до предельного (справа либо слева). Естественно, что математическое ожидание вариаций приращений из (3), как функция $p^l: m[\text{var}_p](p^l) \in [m_1, m_2]$, где m_1, m_2 - конечные числа, в общем случае $m_1 \neq m_2$ (рис. 3). Следовательно, место нахождения математического ожидания вариаций отражает состояние, в котором находится в текущий момент человек как система. Анализ поверхности распределения (3) при переходе от p^l к $p^{(l+1)}$ после ряда математических преобразований приобретает форму, которая описывается нормальным многомерным распределением (рис. 4). Характерная особенность заключается в том, что как приращения, отнесенные к своим частотам, так и огibaющая среднеквадратических отклонений $\sigma_{\text{var } p_i}$ вариаций (рис. 2) имеют нормальный закон распределения. Следовательно, то значение параметра $p=p_n$, при котором $m[\text{var}_p](p_n)=0$, является нормой состояния, а диапазон параметров до точек перегиба $(-\Sigma_1, +\Sigma_1)$ - есть зона функционального оптимума. Динамика этого процесса наиболее эффективно может быть отражена уравнением Фоккера-Планка [4] с учетом симметричного его построения относительно начальных условий.

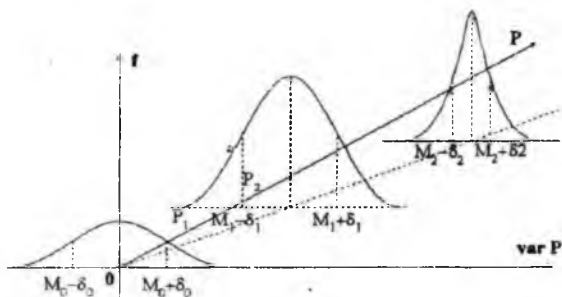


Рис. 1. Изменение области рассеяния параметра P в диапазоне его значений: точка $0 (0, M_0, P_0)$, $M_0=0$ - начало координат, f - распределение плотности вероятности

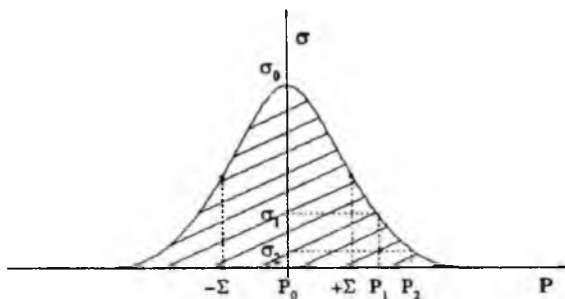


Рис. 2. Зависимость среднеквадратичного отклонения вариации от P ; Σ - среднеквадратичное отклонение зависимости $\sigma(P)$

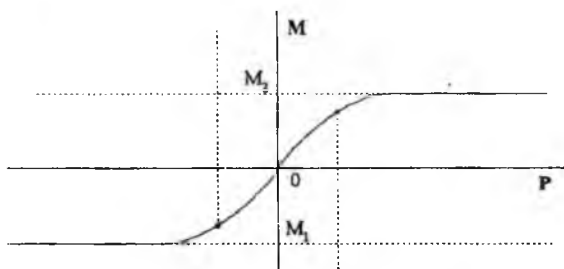


Рис.3. Изменение математического ожидания распределения вариации от P

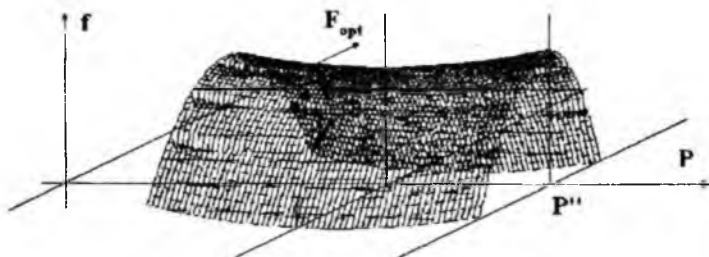


Рис. 4. Поверхность функционального оптимума в диапазоне значений параметра конечного результата

Полученные характеристики являются паспортными и позволяют вести непрерывный мониторинг текущего состояния человека-оператора с

прогнозированием его ухудшения. Реализация такого подхода, как было указано выше, не представляет принципиальной трудности. Такая аппаратура решает проблему контроля за человеком-оператором в реальном масштабе времени с опережающим прогнозированием его состояния.

В обычных условиях работы человека-оператора важен сам факт адекватного состояния в среде пребывания, а не выяснение, из-за какой функциональной системы наблюдается нарушение этого состояния. Все существующие системы контроля строятся именно на втором принципе, что не позволяет получить удовлетворительного результата в контроле и прогнозировании состояния человека - оператора в системе "человек - среда - машина".

В отличие от всех существующих подходов данная разработка позволяет осуществлять контроль, не связывая оператора с системой датчиков, так как параметр конечного результата p - может быть параметром технологического процесса. Данный способ диагностики состояния человека - оператора может послужить базой для создания принципиально нового поколения диагностической и медицинской техники.

(В). Второй проблемой создания системы контроля за человеком-оператором является оценка правильности принятия решения [5]. Будучи непосредственно связанной с функциональным состоянием, она приобрела абсолютно самостоятельное научное направление, связанное с разработкой искусственного интеллекта. Стремление формализовать работу мозга привело к развитию нескольких теоретических подходов. Наиболее широко известны теория статистического различения Ф. Розенблата, теория К. Штайнбуха, теория математических принципов обучаемости. Каждое из этих направлений приблизило создание искусственного интеллекта. Однако использование каждого из подходов в отдельности исчерпало свои возможности в силу того, что они базировались только на одной из характерных особенностей работы реальной интеллектуальной системы.

Техническое решение задачи искусственного интеллекта привело к созданию обучающих систем. Такие системы умеют решать ситуационные задачи и могут контролировать поведение человека, обеспечивая выбор наиболее вероятного решения. Они также ускоряют поиск человеком - оператором оптимального решения. В случае высокой неточности принимаемых решений они могут брать управление на себя, пока действия человека - оператора не приобретут достаточной точности, обеспечивающей безаварийное управление.

Создание подобного рода технических устройств, включенных в систему контроля за человеком-оператором в целях повышения надежности его работы, предполагает не полное копирование принятия решения, а оценку возможной правильности его в конкретной ситуации.

Сопоставляя различимость восприятия человеком поступающей информации со сложностью задания, устройство контроля оценивает возможность выполнения данным человеком данного задания в данных условиях. Если сложность выше, это означает, что человек не справляется с задачей управления и должна быть включена автоматическая система поиска адекватного решения.

Эта идея формализована в виде теоремы.

Теорема. *При заданной толерантности пространства "человек - объект управления - среда" сложность задачи, стоящей перед человеком, ограничена. (Здесь толерантность - различимость восприятия)*

Данная теорема доказана авторами.

В отличие от человека-оператора в подобного рода ситуациях технические устройства могут изменять различимость восприятия. Снижение толерантности пространства протекания событий позволяет найти более сложные адекватные образы поведения, обеспечивающие положительный результат управления. Поэтому предлагается автоматическая система, которая совмещает функции КОНТРОЛЬ + САМООБУЧЕНИЕ + ДУБЛИРОВАНИЕ. Пока состояние человека (различность восприятия) соответствует его норме, данная автоматическая система (назовем ее самообучающейся системой контроля и дублирования - АСКД) работает в режиме КОНТРОЛЬ + САМООБУЧЕНИЕ. При этом человек - оператор выполняет роль учителя. Когда состояние человека за пределами нормы, АСКД работает в режиме ДУБЛИРОВАНИЕ + КОНТРОЛЬ + САМООБУЧЕНИЕ, при этом дублируя действие человека - оператора в определенных пределах. В данном случае режим самообучения основан на опосредовании результата своих действий как системообразующего фактора. В отличие от обучения прямым методом проб и ошибок в АСКД возможно предварительное проигрывание вариантов решений при введении информации о состоянии среды без непосредственного пребывания в ней. Многократное проигрывание ситуаций ("внутренних образов" поведения) с моделируемой ситуацией внешней среды либо полученным реальным ее отображением позволяет установить наиболее эффективный эталон поведения с возможной вариативностью принятия решения в конкретной ситуации, что является аналогом интуитивного принятия решения у человека - оператора.

Реализация подобного рода технических устройств позволит значительно расширить среду доступного поведения человека. Однако данные системы не могут быть освобождены от характерных ошибок, встречающихся в интеллектуальной деятельности человека-оператора, и при увеличении толерантности во взаимосвязи "среда - (АСКД - человек) - объект управления" будут возникать аналогичные решения задачи. Если

они соизмеримы с возможностями человека-оператора, то вероятность правильного выбора решения обученного оператора очень высока.

Если степень неточности оценки воспринимаемой информации, на основании которой необходимо принять решение, выходит за допустимые границы, то автоматическая система контроля сможет подавать сигнал повышенной аварийности, принимая на себя решение ситуационной задачи на базе предварительного обучения. Если такого решения не находится, должна включаться защита, направленная на выход системы из среды повышенного риска (останов технологического процесса, например).

Разработка и создание самообучающихся систем контроля за человеком - оператором с дублированием его функций имеет реальную возможность осуществления. Основные положения, которые позволили приблизить реализацию такого рода устройств, вытекают из принципов организации поведения сложных систем в толерантных пространствах.

К таким принципам относится следующее: при заданной толерантности пространства не может быть создана система выше определенной сложности. Следовательно, оценивая неточность восприятия поступающей информации как толерантность пространства, в котором принимается решение, можно определить степень сложности решаемой задачи и оценить доступность ее для человека - оператора, находящегося в конкретном состоянии. Такая предварительная оценка не требует составления и перебора всех ситуаций в памяти автомата. Идет оценка доступности задачи для человека-оператора в данных условиях среды при оценке его функционального состояния, после чего, при наличии положительного результата, сличается эффективность ситуации неадекватного действия.

Преимущество такого рода гибридного управления заключается в существенном расширении среды пребывания, в которой обеспечивается безаварийное поведение.

Список литературы: 1. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М.: Наука, 1980. 196 с. 2. Судаков К.В. Общая теория функциональных систем. М.: Медицина, 1984. 224 с. 3. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1980. 281 с. 4. Хакен Г. Синергетика: иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985. 419 с. 5. *Handbook of Human Factors* / Edited by G.Salvendy.-Purdue University: N.J.Chichester, Brisbane, Toronto, Singapoure (Салвенди Г. Человеческий фактор. Т. 1 - 7. М.: Мир, 1991).

Поступила в редколлегию 07.06.99

М.В. ЕВЛАНОВ

ВЛИЯНИЕ ПРИНЦИПОВ САМООРГАНИЗАЦИИ НА ПРОЦЕССЫ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Анализ существующих организационных систем управления, тенденций их развития, а также особенности инструментария разработки организационных АСУ и отдельных видов обеспечения позволяют сделать следующие заключения.

Во-первых: в области организационных управляющих систем наблюдается тенденция к созданию и эксплуатации информационных управляющих систем (ИУС), построенных на принципах ситуационного управления. Эта тенденция обусловлена осознанием преимуществ ситуационного управления [1], быстрым развитием средств персональной вычислительной техники и инструментов создания прикладных программ различного назначения, стремлением автоматизировать процессы решения таких сложных задач, как планирование и регулирование деятельности отдельных элементов объекта управления или всего объекта в целом.

Во-вторых: в создаваемых и эксплуатируемых ИУС все большее внимание уделяется решению отдельных задач в виде автоматизированной подготовки, принятия и реализации решения по управлению отдельными элементами объекта или всем объектом в целом. Это, в свою очередь, вызывает необходимость не только в соответствующем инструментарии разработки видов обеспечений, но и в возможности согласования принимаемых решений на различных уровнях управления и видах обеспечений. Существующие же методики разработки подобных систем способны решать проблему интеграции отдельных элементов или подсистем в единую целостную систему путем создания типизированной структуры системы (и, соответственно, управляемого предприятия) с жесткими заранее определенными условиями взаимодействия ее элементов, или же путем экспериментального формирования решения без возможности достаточно простого изменения его впоследствии.

В-третьих: в области инструментария разработки различных видов обеспечений (особенно программного и информационного) подобных систем отчетливо наблюдается тенденции к интеграции различных способов обработки, хранения и отображения информации в единое целостное средство. Однако эта тенденция является результатом решения практических проблем разработки видов обеспечений. Существующие теоретическая база и методики проектирования и модернизации организационных систем управления не дают разработчику достаточно удобный аппарат анализа интеграционных

процессов как отдельных, так и различных видов обеспечений, а также оценки принимаемых проектных решений.

Все сказанное выше является основной методологической базой разработки и эксплуатации современных организационных систем управления. Кроме этого, в настоящее время данная база включает в себя следующие положения, влияющие на ход разработки и модернизации систем:

- отсутствие стабильной экономики сложившейся непротиворечивой законодательной базы и быстрая сменяемость вычислительной техники требуют повышения возможностей адаптации системы к изменению условий ее эксплуатации;

- стремление повысить адаптационные способности системы, слабый уровень подготовки управленческого персонала к работе с подобными системами и дороговизна обучения квалифицированных специалистов заставляют обратить особое внимание на интеллектуализацию ИУС.

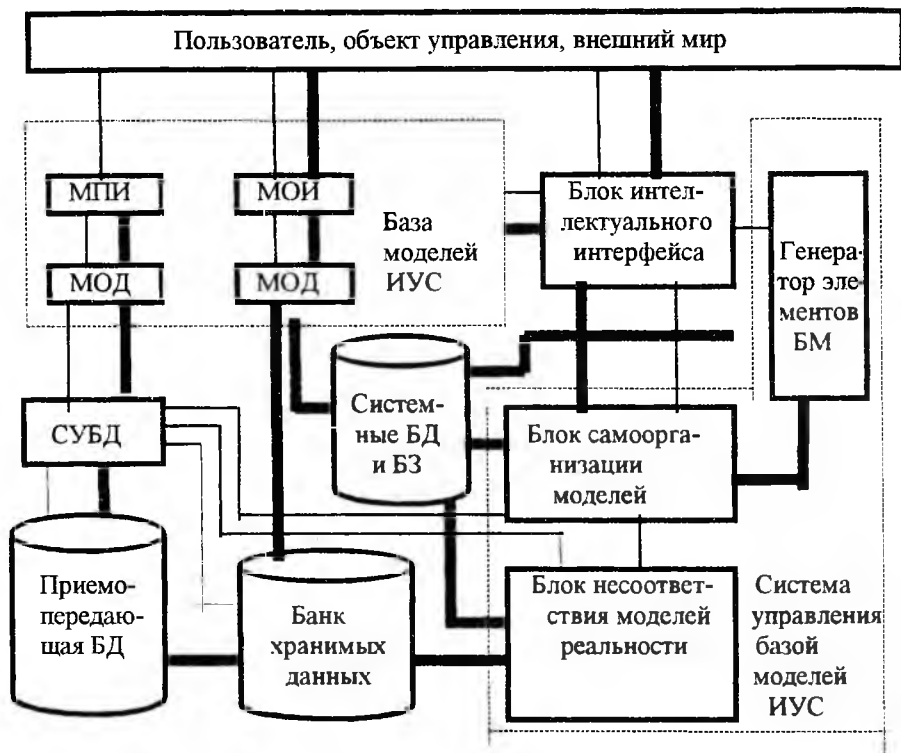
В настоящее время подавляющее большинство работ по созданию адаптивных интеллектуальных ИУС основываются на концепциях самоорганизации в их современном представлении [2, 3]. Эти концепции основаны на двух принципах: открытости системы для материальных и энергетических потоков из внешней среды и принципе операционной замкнутости системы. Реализация принципа открытости системы (в нашем случае - информационной) препятствует достижению системой термодинамического равновесия. Для подобных систем существует динамическое равновесие (так называемое стационарное состояние), неустойчивость которого, как правило, влечет за собой переход от одного состояния к другому. Реализация принципа операционной замкнутости приводит к тому, что реакцию в системе вызывает не "информация" из окружающей среды (или от объекта управления), а любые помехи, выводящие систему из стационарного состояния, т. е. система сама генерирует собственное поведение [3].

Включение принципов самоорганизации в методологическую базу разработки и эксплуатации организационных систем управления приводит к необходимости корректировки существующего представления системы. В этом случае идеальную (самоорганизующуюся) систему можно представить как целостную структурно закрытую сущность, которая находится в состоянии динамического равновесия и самостоятельно определяет условия перехода из одного состояния динамического равновесия в другое согласно определенным заранее целям или спонтанно.

Данная коррекция представления системы наряду с другими причинами приводит к необходимости изменения представления организационной системы управления. С учетом тенденций развития систем обработки информации и управления организационную систему управления следует представлять как комплекс взаимосвязанных задач, решение которых

обеспечивает реализацию сквозного цикла "исследование – проектирование – изготовление – сбыт продукции" для различных проектов (изделий) [4]. При этом каждая решаемая в системе задача должна иметь решение для любого реализуемого проекта (изделия).

Рассмотренные методологическая база разработки и эксплуатации организационных систем управления, скорректированные представления системы и организационной системы управления определяют функциональную структуру современной ИУС, показанную на рисунке.



Данная структура состоит из следующих блоков:

Блок МПИ - модель приема информации - представляет собой совокупность структурированных неким образом представлений ИУС об объекте управления, пользователе, внешнем мире. С помощью этих представлений ИУС получает информацию, необходимую для выработки, принятия и реализации управляющих объектов на объект управления.

Блок МОИ - модель отображения информации - это совокупность структурированных неким образом представлений ИУС об объекте

управления и предлагаемых ИУС вариантов управляющих воздействий на объект управления. С помощью этих моделей осуществляется передача информации от ИУС к пользователю, на объект управления или во внешний мир.

Блок МОД - модели обработки данных - представляет собой совокупность способов обработки данных, получаемых из МПИ или посылаемых МОИ. Этот блок является ответственным за обработку поступаемых данных, приведение полученной извне информации к внутрисистемному представлению, а также трансформацию хранимых данных из внутрисистемного представления в соответствующие МОИ.

Блок "Банк хранимых данных" – единое внутрисистемное информационное пространство ИУС, в котором хранятся все данные об объекте управления и внешнем мире, на основании которых вырабатываются управляющие воздействия.

Блок "Система управления базами данных" представляет собой механизм доступа к конкретным данным из банка хранимых данных [5], с одной стороны, и комплекс средств по генерации, обеспечению целостности и сопровождению структур отдельных баз данных и всего банка хранимых данных – с другой.

Блок "Системные базы данных (БД) и базы знаний (БЗ)" – это единое внутрисистемное информационное пространство ИУС, в котором хранятся данные и знания о структуре и содержании данной ИУС. Хранимая здесь информация необходима для определения поведения ИУС.

Блок несоответствия моделей реальности является ответственным за выявление помех, выводящих ИУС из состояния динамического равновесия, классификацию обнаруженной помехи и выработку рекомендаций по способам ее устранения, которые затем передаются в блок самоорганизации моделей.

Блок самоорганизации моделей является ответственным за выработку, принятие и реализацию воздействий на структуру и содержание ИУС, обеспечивающих устранение выявленных помех. В тех случаях, когда помеха неустранима собственными силами, данный блок обеспечивает представление о сложившейся исключительной ситуации ответственным за функционирование ИУС лицам через блок системного интерфейса.

Блок системного интерфейса предназначен для общения пользователей и ИУС и призван обеспечивать решение ряда задач, среди которых можно выделить:

- допуск пользователя к работе с ИУС;
- представление пользователю требуемых МПИ и МОИ;
- оповещение пользователей и администраторов ИУС о возникновении исключительных ситуаций с представлением соответствующих сведений;
- предоставление пользователям ряда сервисных функций (календарь, калькулятор и т.д.);

- завершение работы пользователя с ИУС;
- поддержка внутрисистемного информационного и командного обмена;
- ведение журналов работы пользователей и элементов ИУС.

Блок генерации элементов БМ предназначен для генерации новых МПИ и МОИ и корректировки уже имеющихся в случае их несоответствия реальности или при увеличении количества решаемых ИУС задач.

Описанные выше блоки можно объединить в пять основных компонент ИУС: информационное пространство или базы данных ИУС, СУБД ИУС, база моделей (БМ) ИУС, система управления базой моделей (СУБМ) ИУС, а также системный интерфейс. Компоненту информационного пространства образуют банк хранимых данных и системные БД и БЗ. Компоненту БМ образуют блоки МПИ, МОИ и МОД. Компоненту СУБМ образуют блоки несоответствия моделей реальности и самоорганизации моделей, а также блок генерации элементов БМ. Компоненты СУБД ИУС и системного интерфейса представляют собой отдельные блоки, состоящие из комплексов моделей, методов, алгоритмов и программ, разработанных на основе существующей теоретической базы и накопленного опыта создания и эксплуатации подобных систем.

Построение и эксплуатация ИУС на основе данной структуры приводит к переоценке степени важности отдельных работ. Если для современных ИУС наиболее важной работой, результаты выполнения которой определяют подавляющее большинство дальнейших проектных решений, является формирование структуры информационного пространства и выявление характеристик его отдельных элементов, то для ИУС с предлагаемой структурой наиболее важным станет комплекс работ по выявлению и созданию БМ ИУС в виде структурно замкнутого набора МПИ, МОИ и МОД. Важность этих работ обусловлена следующими причинами:

- именно МПИ, МОИ и МОД являются ответственными за обеспечение открытости системы (в нашем случае - информационной), поскольку информационное пространство, как правило, не может напрямую предоставлять или принимать данные от пользователя, объекта управления или внешней среды;

- именно состав и взаимосвязи МПИ, МОИ и МОД определяют степень операционной замкнутости ИУС, возможные состояния динамического равновесия и направления переходов ИУС от одного состояния динамического равновесия к другому;

- именно МПИ, МОИ и МОД для ИУС, создаваемой на основе предлагаемой структурной схемы, определяют автоматизируемые задачи, решаемые при управлении объектом.

Из всего сказанного следует, что для создания современной ИУС с элементами самоорганизации необходимо исследовать ряд вопросов, связанных с разработкой и эксплуатацией элементов БМ ИУС, а также с

различными аспектами управления БМ ИУС и отдельными ее элементами. Основными задачами такого исследования будут:

- разработка формализованного описания БМ ИУС и ее элементов, учитывающего как открытость элементов БМ для информационных потоков, так и возможность интеграции элементов БМ в единую целостную базу по принципу операционной замкнутости;
- разработка формализованных представлений процессов трансформации предлагаемого описания элементов БМ ИУС в представления соответствующих видов обеспечений создаваемой системы;
- разработка средств управления элементами БМ ИУС, способных обеспечить желаемый уровень адаптации системы к изменению условий ее эксплуатации и требуемые для этого интеллектуальные способности системы.

Решение данных задач для создаваемой ИУС позволит снизить затраты на разработку функциональной и обеспечивающей частей системы в результате предварительного анализа элементов БМ ИУС и их взаимосвязей, а также позволит предусмотреть сравнительно безболезненную модернизацию данной системы в процессе ее эксплуатации. В работе [6] для формирования решений этих задач предлагается использовать аппарат теории категорий, позволяющий представлять БМ ИУС как категорию, объектами которой являются формализованные представления элементов БМ ИУС, а морфизмами - представления взаимосвязей этих формализованных описаний. В качестве формализованного описания элементов БМ ИУС и их взаимосвязей предлагается использовать представление элементов БМ ИУС как документов - совокупностей структурированных наборов информационных параметров, характеризующих состояние элементарных составляющих объекта управления. Это позволяет избежать зависимости представления БМ ИУС и ее элементов от предметной области (реализует принцип открытости) и учитывает требуемую целостность и замкнутость структуры БМ (реализует принцип структурной замкнутости).

Список литературы: 1. Кунц Б., О'Доннел С. Управление: системный и ситуационный анализ управленческих функций. Т.1. М: Прогресс, 1981. 496 с. 2. Пушкин В.Г., Урсул А.Д. Информатика, кибернетика, интеллект. Философские очерки. Кишинев: Штиинца, 1989. 296 с. 3. Концепция самоорганизации в исторической ретроспективе: Сборник статей. М.: Наука, 1992. 239 с. 4. Левикін В.М. Формалізовані засоби системного опису і проектування АСУ інтегрованим виробництвом. Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук. Харків: ХТУРЕ, 1995. 38 с. 5. Кокорева Л.В., Перевозчикова О.Л., Ющенко Е.Л. Диалоговые системы и представление знаний. К.: Наукова думка, 1992. 448 с. 6. Левикін В.М., Евланов М.В. Реализация возможности 'модификации функциональной структуры организационных АСУ // АСУ и приборы автоматики. 1997. Вып. 105. С. 70- 74.

Поступила в редколлегию 05.06.98

Н.А. ГВОЗДИНСКАЯ

БУЛЕВЫ И ПРЕДИКАТНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ПРОСТРАНСТВА

Проблема создания математического аппарата для моделирования интеллектуальных процессов возникла уже давно. Научная мысль продвинулась довольно далеко по пути моделирования физических процессов, протекающих в окружающем нас мире. Зафиксировав некоторые начальные условия, можно с достаточно большой вероятностью предсказать конечное состояние процесса. Классическая кибернетическая схема [1] представлена на рис. 1.

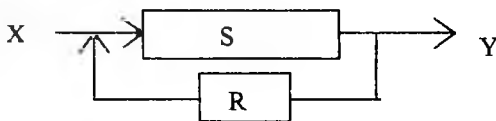


Рис. 1. Модель объекта управления с обратной связью:

X - входные параметры; Y - выходные параметры; S - модель объекта управления, т.е. модель некоторого процесса; R - оператор, обеспечивающий регулирование процесса на основании принципа обратной связи

Протекание физических процессов S достаточно хорошо формализовано. В связи с этим возник вопрос, возможна ли столь же успешная формализация интеллектуальной деятельности? Поисками ответа на поставленный вопрос занимается наука, носящая название "теория интеллекта" [2]. В качестве аппарата для описания на математическом языке, на сегодняшний день единственном, который воспринимается ЭВМ, предполагается использовать алгебру конечных предикатов. "На языке алгебры конечных предикатов можно выразить любой закон интеллекта и любую интеллектуальную деятельность, реализуемые на ЭВМ" [3].

Любой конечный n -местный предикат, алфавит которого содержит k символов, можно представить как элемент некоего поля логических скаляров. В то же время в [4] было отмечено, что существует аналогия между логической и линейной алгеброй. С учетом этого факта в работе [9] рассмотрены операции над логическими матрицами и их свойства, но приведенные примеры охватывают случай только скалярного поля $K=\{0, 1\}$. Однако все полученные результаты можно распространить и на вариант, когда полем логических скаляров является множество конечных n -местных предикатов. В этом случае каждый элемент логической матрицы представим гиперкубом размерности n . Например,

рассмотрим трехместный предикат $R(x, y, z)$ над алфавитом $K=\{0, 1\}$ из $k=2$ символов. Графически его можно изобразить, как это показано на рис. 2, где каждой вершине соответствует значение предиката при образующих ее значениях аргументов x, y, z .

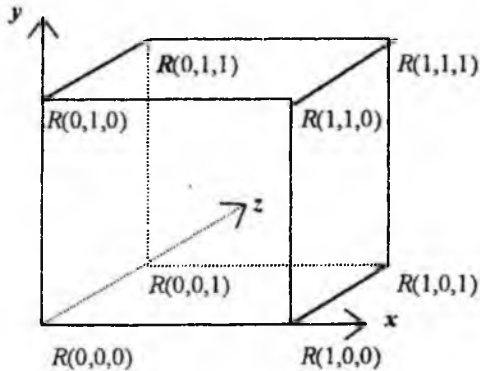


Рис. 2. Графическое представление трехместного предиката в виде трехмерного гиперкуба

Роль единичного элемента поля скаляров играет предикат, равный единице при всех значениях наборов аргументов, а роль нулевого элемента поля скаляров - предикат, равный нулю при всех значениях наборов аргументов. Графически единичный элемент представлен в виде гиперкуба, всем вершинам которого соответствуют единицы (рис. 3, а), а нулевой - гиперкубом, всем вершинам которого соответствуют нули (рис. 3, б).

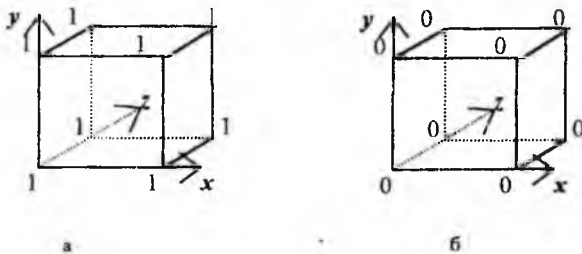


Рис. 3. Графическое представление единичного и нулевого элементов поля логических скаляров для случая трехместных предикатов

Согласно определениям предикатных операций [2, 11], все действия над матрицами, составленными из таких элементов, производятся поразрядно. Под *разрядом* понимается значение рассматриваемого предиката при одном из возможных наборов аргументов. Таким образом, бинарные операции (дизъюнкция и конъюнкция) предполагают, что их результатом будет элемент, каждому разряду которого соответствует значение производимой бинарной операции над одноименными разрядами участвующих в операции предикатов, где под *одноименными разрядами* понимаются значения этих предикатов от одинаковых наборов аргументов. Эти операции будут производиться по следующим правилам:

$$(P_i \vee P_j)(x_1, \dots, x_n) = P_i(x_1, \dots, x_n) \vee P_j(x_1, \dots, x_n),$$

$$(P_i \wedge P_j)(x_1, \dots, x_n) = P_i(x_1, \dots, x_n) \wedge P_j(x_1, \dots, x_n).$$

Графически это представлено на рис. 4.

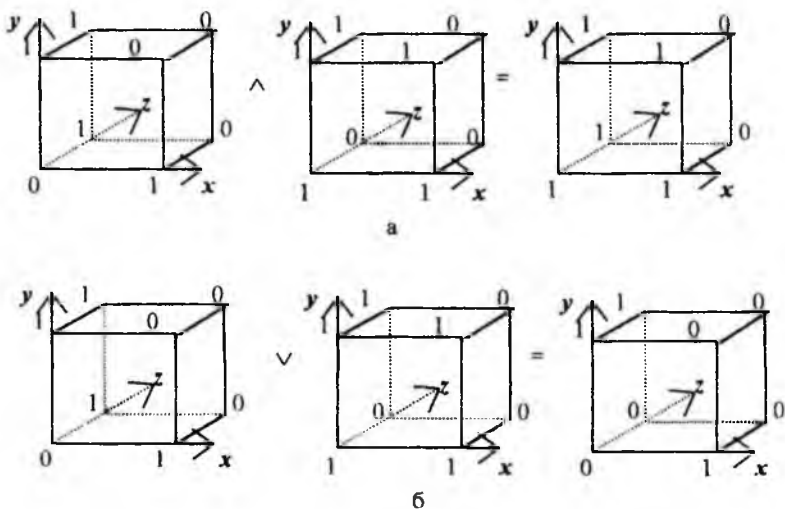


Рис. 4. Графическое представление дизъюнкции (а) и конъюнкции (б) логических скаляров в случае трехместных предикатов

Операция отрицания также проводится поразрядно. Графически это показано на рис. 5.

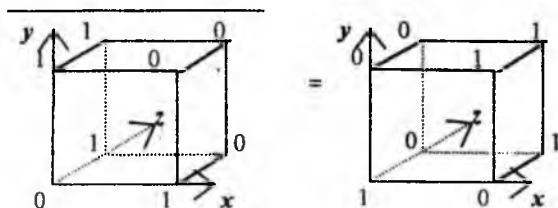


Рис. 5. Графическое представление операции отрицания логических скаляров в случае трехместных предикатов

Кроме того, систему всех конечных предикатов арности m над алфавитом из k символов можно рассматривать как логическое пространство. Полем логических скаляров для такого пространства может быть любая система всех конечных предикатов арности $n < m$. Однако алфавитом и для поля скаляров, и для множества векторов такого логического пространства должно служить одно и то же множество. Построенное таким образом пространство назовем *предикатным логическим пространством* или *пространством m -местных предикатов над скалярным полем n -местных предикатов*. Определим операции над элементами такого пространства. Дизъюнкцию и конъюнкцию векторов такого пространства будем находить по правилам, аналогичным тем, которые были введены для элементов поля логических скаляров:

$$(Q_i \vee Q_j)(x_1, \dots, x_m) = Q_i(x_1, \dots, x_m) \vee Q_j(x_1, \dots, x_m),$$

$$(Q_i \wedge Q_j)(x_1, \dots, x_m) = Q_i(x_1, \dots, x_m) \wedge Q_j(x_1, \dots, x_m).$$

Рассмотрим теперь поле логических скаляров, представляющее собой множество n -местных предикатов $P(x_{i_1}, \dots, x_{i_n})$, где $i_k \neq i_l$, $i, l = 1, \dots, n$. При этом множество индексов $\{i_1, \dots, i_n\}$ является подмножеством множества индексов $\{1, \dots, m\}$. В силу того, что все пространства m -местных предикатов, для которых аргументами предикатов скалярного поля служат всевозможные подмножества $\{x_{i_1}, \dots, x_{i_n}\}$ множества $\{x_1, \dots, x_m\}$, идентичны, будем считать, что предикаты-скаляры заданы на множестве первых n элементов множества $\{x_1, \dots, x_m\}$, т.е. представляют собой n -местные предикаты $P(x_1, \dots, x_n)$. Операция умножения вектора на скаляр в предикатных пространствах будет производиться по следующему правилу:

$$(P \cdot Q)(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m) = P(x_1, \dots, x_n) \wedge Q(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m).$$

Например, пусть полем логических скаляров служит набор одноместных предикатов $P(x)$ на двухэлементном множестве $K = \{0, 1\}$, а множество векторов представляет собой набор трехместных

предикатов $R(x, y, z)$. Тогда умножение вектора на скаляр осуществляется по схеме, показанной на рис. 6. Случай, когда полем логических скаляров является множество двухместных предикатов $Q(x, y)$, представлен на рис. 7.

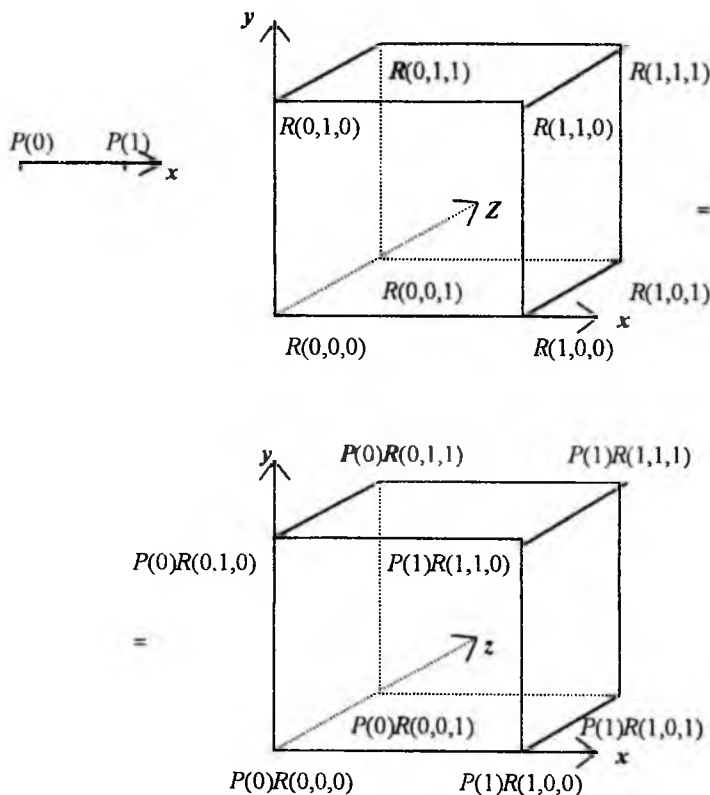


Рис. 6. Умножение логического вектора в виде трехместного предиката $R(x, y, z)$ на логический скаляр, представленный одноместным предикатом $P(x)$

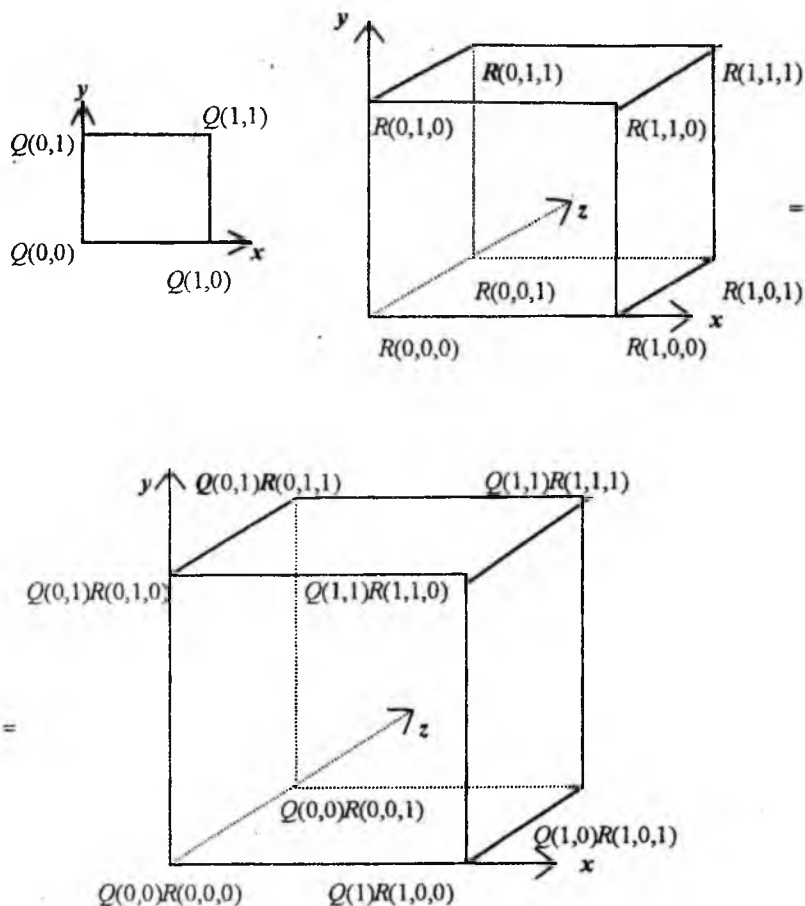


Рис 7. Умножение логического вектора в виде трехместного предиката $R(x, y, z)$, на логический скаляр, представленный двухместным предикатом $Q(x, y)$

Множество логических скаляров для описанного предикатного пространства будет иметь мощность 2^{k^n} , а количество векторов, составляющих рассматриваемое предикатное пространство, будет равно 2^{k^m} [5].

Теорема. Пространство m -местных предикатов, заданное над скалярным полем n -местных предикатов, $n < m$, является совершенным.

Доказательство. Обозначим множества m - и n -местных предикатов через L и G соответственно. Составим множество M из всевозможных наборов аргументов $x_{n+1}, \dots, x_m$:

$$M = \{(x_{n+1}, \dots, x_m), x_i \in K, n+1 \leq i \leq m\},$$

где K - алфавит, над которым заданы рассматриваемые предикаты. Для краткости записи элементы множества M будем обозначать через v . Теперь построим базис пространства L . В качестве базисных векторов возьмем предикаты вида

$$Q_v(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m) = \begin{cases} 1, (x_{n+1}, \dots, x_m) = v \\ 0, (x_{n+1}, \dots, x_m) \neq v \end{cases}, v \in M,$$

т.е. в базисном векторе все разряды, в которых зафиксированы значения последних $(m-n)$ переменных, равны единице, а остальные разряды равны нулю. Индексом v базисного вектора при этом служит набор зафиксированных значений переменных $(x_{n+1}, \dots, x_m)$.

Рассмотрим теперь произвольный вектор $l(x_1, \dots, x_m) \in L$. Его можно представить в виде следующей линейной комбинации базисных векторов:

$$l(x_1, \dots, x_m) = \sum_{v \in M} l(x_1, \dots, x_n, v) Q_v(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m), \quad (1)$$

где $l(x_1, \dots, x_n, v)$ - n -местный предикат, т.е. элемент $P_v(x_1, \dots, x_n)$ скалярного поля G . Таким образом, равенство (1) можно записать в виде

$$l(x_1, \dots, x_m) = \sum_{v \in M} P_v(x_1, \dots, x_n) Q_v(x_1, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_m).$$

что представляет собой разложение вектора l по построенному описанным выше способом базису. Очевидно, что разложение любого вектора по этому базису единственно. Обозначим векторы этого базиса через $a_1, \dots, a_p$.

Рассмотрим любой другой базис $a'_1, \dots, a'_p$ пространства L , разложение векторов которого по базису $a_1, \dots, a_p$ запишется следующим образом:

$$\begin{cases} a'_1 = \alpha_{11}a_1 \vee \dots \vee \alpha_{1p}a_p, \\ \dots\dots\dots \\ a'_p = \alpha_{p1}a_1 \vee \dots \vee \alpha_{pp}a_p. \end{cases} \quad (2)$$

Тогда

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} \dots \alpha_{p1} \\ \dots\dots\dots \\ \alpha_{1p} \dots \alpha_{pp} \end{pmatrix}$$

является матрицей перехода от базиса $a_1, \dots, a_p$ к базису $a'_1, \dots, a'_p$ [6]. Эта матрица определена однозначно в силу единственности разложения любого вектора пространства L по базису $a_1, \dots, a_p$. Как было показано в работе [7], матрица A является обратимой. В силу того, что у любой обратимой логической матрицы существует только одна обратная, то матрица

$$B = \begin{pmatrix} \beta_{11} \dots \beta_{p1} \\ \dots \\ \beta_{1p} \dots \beta_{pp} \end{pmatrix}$$

обратного перехода от базиса $a'_1, \dots, a'_p$ к базису $a_1, \dots, a_p$ также определена однозначно.

Возьмем произвольный вектор $l \in L$, имеющий в базисе $a_1, \dots, a_p$ координаты $[l] = (\lambda_1, \dots, \lambda_p)$. Обозначим координаты вектора l в базисе $a'_1, \dots, a'_p$ через $[l'] = (\lambda'_1, \dots, \lambda'_p)$. Тогда

$$\begin{pmatrix} \lambda'_1 \\ \vdots \\ \lambda'_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta_{11} \dots \beta_{p1} \\ \dots \\ \beta_{1p} \dots \beta_{pp} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_p \end{pmatrix}.$$

Так как и λ_j , и β_{ij} , $i, j = 1, \dots, p$ определены однозначно, то и λ'_i также будет определена однозначно. Следовательно, вектор l будет иметь единственное разложение по любому базису пространства L . Это означает, что пространство L совершенно. Теорема доказана.

Вычислим размерность p такого пространства, т.е. найдем количество его базисных векторов. Согласно определению, любой вектор совершенного логического пространства можно единственным образом представить в виде линейной комбинации базисных векторов.

Число таких комбинаций будет равно $(2^{k^n})^p$. Кроме того, как было сказано выше, это число равно 2^{k^m} . Следовательно, имеет место следующее равенство:

$$2^{k^m} = (2^{k^n})^p, \quad (3)$$

откуда, логарифмируя обе части по основанию 2, и находим число базисных векторов описанного выше совершенного предикатного пространства:

$$p = k^{m/n}. \quad (4)$$

В работе [6] приведен пример такого логического пространства, где в качестве поля логических скаляров рассматривается множество всех одноместных предикатов $P(x)$, а логическими векторами служат всевозможные двухместные предикаты $Q(x, y)$. Алфавитом в указанном

пространстве служит множество $K=\{0, 1\}$. Очевидно, что $k=2$, $n=1$, $m=2$. Количество логических скаляров в этом примере равно четырем, а векторов - шестнадцати. Размерность этого пространства равна $2^{2-1}=2$.

Векторы булева пространства можно понимать как множество конститuent единицы по m переменным, т.е. как множество точек алгебры булевых функций m переменных [8]. Следовательно, число векторов булева пространства равно 2^m . Поле логических скаляров для булева пространства содержит два элемента: ноль и единицу. Следовательно, справедливо следующее соотношение:

$$2^p=2^m,$$

где p - размерность булева пространства, т.е. число его базисных векторов. Очевидно, что

$$p=m. \quad (5)$$

Следует отметить, что операции конъюнкции, отрицания и свертки векторов [7] можно ввести только в том случае, когда рассматриваемое логическое пространство совершенно, так как в несовершенном логическом пространстве невозможно гарантировать однозначность этих операций в силу того, что разложение векторов по базису в таких пространствах не единственно [5].

Рассмотрим теперь матрицы линейных логических операторов [10]. В силу равенства (5), для булевых пространств любой матрице над полем $K=\{0, 1\}$ отвечает некоторый линейный логический оператор. Для предикатных пространств это не так. В случае таких пространств на размерность матриц, соответствующих линейным логическим операторам, накладывается следующее ограничение. Допустим, что некоторая логическая матрица A_q , над полем логических скаляров, элементами которого являются конечные предикаты n -арности над алфавитом из k символов, представляет собой матрицу некоторого логического оператора A , переводящего векторы предикатного пространства W размерности r в векторы предикатного пространства V размерности q . В силу равенства (4), для r и q должны выполняться следующие соотношения:

$$r=k^{m_r-n}, \quad (6)$$

$$q=k^{m_q-n}, \quad (7)$$

где m_r и m_q - арности предикатов, представляющих собой векторы пространств W и V соответственно. Из (6) и (7) следует, что указанная выше логическая матрица $A_{q,r}$ является матрицей описанного линейного логического оператора в том и только в том случае, когда количество ее строк и количество ее столбцов представляют собой некоторую целую степень числа k .

Например, матрица

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

над полем одноместных предикатов над алфавитом $K=\{0, 1\}$ не соответствует ни одному линейному логическому оператору, так как число ее строк равно трем, а $k=2$. Матрица же

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

соответствует линейному логическому оператору B , переводящему векторы предикатного пространства W размерности 4 в векторы предикатного пространства V размерности 2. Учитывая соотношения (6) и (7), а также то, что $k=2$, а $n=1$, находим, что арность предикатов, представляющих собой векторы пространства образов V , равна $m_q=2$, а арность предикатов, представляющих собой векторы пространства прообразов W , равна $m_r=3$.

Список литературы. 1. Кузин Л.Т. Основы кибернетики: В 2-х томах. М.: Энергия, Т.1. Математические основы кибернетики. 1973. 504с. 2. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. Харьков: Выща шк. 1984. 143с. 3. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. О проблемах теории интеллекта // Проблемы бионики, 1990. Вып. 44. С. 3-10. 4. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Логическая алгебра // Проблемы бионики, 1991. Вып. 46. С. 1-10. 5. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Неполные и полные логические пространства // Проблемы бионики, 1991. Вып. 46. С. 10-17. 6. Гвоздинская Н.А., Дударь З.В., Пославский С.А., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. О логических пространствах // АСУ и приборы автоматики, 1997. Вып. 106. С. 21-30. 7. Гвоздинская Н.А. О некоторых операциях над векторами совершенного логического пространства // АСУ и приборы автоматики. 1999. Вып. 109. С. 3-12. 8. Поваров Г.Н. О групповой инвариантности булевых функций. // Применение логики в науке и технике. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 263-340. 9. Гвоздинская Н.А., Дударь З.В., Пославский С.А., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. О логических матрицах // Проблемы бионики, 1998. Вып. 48. С.12-22. 10. Гвоздинская Н.А. О матрицах линейных логических операторов // Проблемы бионики. 1999. Вып.50. С.25-29. 11. Клини С. Математическая логика. М.: Мир, 1973. 480с.

Поступила в редколлегию 09.09.98

А.Д. ЧЕРЕНКОВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРОВОТОКА В НЕСТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Характеристики крови и кровеносной системы в целом определяют полноценность функционирования живых систем.

С кровью связано осуществление таких жизненно важных функций как дыхание, обмен веществ, защита целостности самого кровеносного русла, сопротивление заболеваниям, терморегуляция организма.

Все сказанное выше и определяет то обстоятельство, что кровь взята нами как объект исследования при решении задач об учете взаимодействия электромагнитного поля на животных и измерении их электромагнитного излучения.

Для решения этих и других задач необходимо построение математической модели кровотока в нестационарном режиме.

Вопросы динамики крови, как отмечалось выше, весьма существенны при составлении физиологического портрета животных и человека.

В связи с этим данной проблеме посвящено значительное количество исследований [1,2].

Однако существенным недостатком, на наш взгляд, является то, что здесь и в других работах получены результаты для стационарной задачи, т.е. для кровотока, не зависящего от времени. Это значительно ограничивает применение результатов, полученных в упомянутых работах. В частности, они не применимы для оценки явлений, связанных с воздействием на кровотоки электромагнитных полей и с дистанционным измерением температуры животных.

Движение ньютоновской жидкости может быть описано с помощью уравнения Навье-Стокса:

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla P + \eta \Delta \vec{v}, \quad (1)$$

где $\nabla P = \text{grad}P$;

$\vec{v}$ - скорость крови;

P - приложенное ко входу давление;

ρ - плотность крови;

η - вязкость крови.

Уравнение (1) является нелинейным, так как

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \operatorname{div} \vec{v}.$$

Наличие слагаемого $\vec{v} \operatorname{div} \vec{v}$ усложняет решение задачи. Однако тот факт, что движение крови в сосудах является ламинарным, дает право считать это слагаемое равным нулю.

Это обстоятельство упрощает решение поставленной задачи. При этом заметим, что, так как $\vec{v} \operatorname{div} \vec{v}$ тождественно обращается в 0 и ускорение жидкости равно $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$, то данный элемент имеет лишь одну ненулевую компоненту v_z .

Представим уравнение Навье-Стокса в цилиндрических координатах:

$$\begin{cases} \frac{dv_r}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{dv_r}{dr} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_r}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2} \right], \\ \frac{dv_\varphi}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \varphi} + \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{dv_\varphi}{dr} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial z^2} \right], \\ \frac{dv_z}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{dv_z}{dr} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right]. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь ν - кинематическая вязкость, равная $\frac{\eta}{\rho}$.

С учетом уравнения неразрывности

$$\left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial v_z}{\partial z} \right] \rho + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

и так как $\vec{v} = \vec{e}_z^0 v_z$, а $v_r = v_\varphi = 0$, система приобретает вид

$$\begin{cases} \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} = 0, \\ \frac{1}{\rho} \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \varphi} = 0, \\ \frac{dv_z}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{dv_z}{dr} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right]. \end{cases} \quad (4)$$

Если же учесть и то, что течение крови является соленоидальным, т.е. $\operatorname{div} \vec{v} = 0$, то анализ выражения (3) дает право заключить, что

$$\frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (5)$$

Используя выражение (5) совместно с (4), с учетом осесимметричности задачи $\left(\frac{\partial}{\partial \varphi} = 0\right)$ и абсолютной упругости жидкости, в связи с чем $\frac{\partial P}{\partial z} = -\frac{\Delta P}{L}$, где ΔP – перепад давления в кровотоке между концом и началом кровеносного сосуда заданной длины L , получим уравнение для v_z в виде

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{L} + v \left(\frac{1}{r} \frac{dv_z}{dr} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} \right), \quad (6)$$

или окончательно:

$$\frac{dv_z}{dt} - \left(\frac{1}{r} \frac{dv_z}{dr} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta P}{L}. \quad (7)$$

По своему характеру (7) представляет собой неоднородное дифференциальное уравнение с однородными начальными и граничными условиями:

$$v_z(r, 0) = 0 \quad \text{и} \quad v_z(R, t) = 0.$$

Правая часть уравнения (7) содержит величину ΔP , представляющую собой перепад давления ΔP_0 в кровеносном сосуде. В реальной ситуации изменение этой величины во времени носит импульсный характер.

С достаточной степенью точности можно считать, что эти импульсы имеют крутой фронт и могут рассматриваться как прямоугольные импульсы с длительностью t_2 .

При этом отношение $\frac{t_2}{t_1} = \theta$, с одной стороны, является величиной, обратной скважности следования импульсов перепада давления, а с другой – учитывает эластичность кровеносных сосудов.

Приступая к решению поставленной задачи, разложим функцию $\Delta P(t)$ в ряд Фурье. Если это разложение осуществить по косинусам, получим

$$\Delta P(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \frac{2\pi k}{t_1} t. \quad (8)$$

Здесь

$$a_0 = \frac{2}{t_1} \int_{-\frac{t_1}{2}}^{\frac{t_1}{2}} \Delta P(t) dt = 2 \frac{t_2}{t_1} \Delta P_0, \quad (9)$$

$$a_k = \frac{2}{t_1} \int_{-\frac{t_1}{2}}^{\frac{t_1}{2}} \Delta P(t) \cos \frac{2\pi k}{t_1} t dt = \frac{2\Delta P_0}{k\pi} \sin k\pi \frac{t_2}{t_1}. \quad (10)$$

Подставляя (9) и (10) в (8), получаем

$$\Delta P(t) = \Delta P_0 \left(\frac{t_2}{t_1} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k\pi \frac{t_2}{t_1}}{k} \cos \frac{2\pi k}{t_1} t \right). \quad (11)$$

Обозначив $\frac{t_2}{t_1} = \theta$; $\frac{2k\pi}{t_1} = kl$, окончательно получим

$$\Delta P(t) = \Delta P_0 \left(\theta + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k\pi\theta}{k} \cos klt \right). \quad (12)$$

Решение уравнения для v_z будем искать методом разделения переменных.

Учитывая сказанное выше, выражение для продольной составляющей скорости крови v_z получим в следующем виде:

$$v_z = \frac{2\Delta P_0}{\rho L} \frac{J_0(\alpha_1^{(0)} r)}{\mu_1^{(0)} J_0(\mu_1^{(0)})} \left\{ \frac{\theta}{v(\alpha_1^{(0)})^2} + \right. \\ \left. + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin k\pi\theta}{k} \frac{\frac{1}{kl} \sin klt + \left(\frac{1}{kl}\right)^2 v(\alpha_1^{(0)})^2 \cos klt}{1 + \left[\frac{v(\alpha_1^{(0)})^2}{kl} \right]^2} \right\}. \quad (13)$$

Первое слагаемое в фигурных скобках соответствует движению крови при постоянном давлении на входе кровеносного сосуда. Оно даст результат, сходный с решением задачи Пуазейля о течении вязкой

жидкости в цилиндрическом канале под влиянием постоянного перепада давлений, т.е. параболический профиль скоростей в поперечном сечении сосуда. Второе слагаемое дает поправку, связанную с пульсацией крови. Как легко видеть, его появление означает, что профиль скоростей потока крови будет совершать периодические колебания с некоторой частотой около среднего значения.

Таким образом, определив скорость кровотока и связав ее с заряженными форменными элементами крови, мы сможем установить распределение электромагнитного поля внутри и вне кровеносных сосудов.

Список литературы. 1. Yearwood T.L., Chandran K.B. Experimental investigation of steady flow through a model of the human aortic arch // J.Biomech. 1980. Vol.123, №10. P.1075-1088. 2. Appelblat A., Katzir-Katchalsky A., Silberberg A. Steady laminar flow through a blood vessel // Biorheology. 1974. №11. P.55-67. 3. Черных А.М., Александров П.И., Алексеев О.В. Микроциркуляция. М.: Медицина. 1973. 445с.

Поступила в редколлегию 28.04.99

Л. Л. КОЗЯЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО ВИДА ФУНКЦИИ ДИНАМИКИ АДАПТАЦИИ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

Уникальным инструментом для познания окружающего мира является зрение человека. Оно способно эффективно действовать при изменении интенсивности света в огромном интервале значений: от 10^{-6} кД*м² для глаза, полностью адаптированного к темноте, до 10^6 кД*м² для глаза, адаптированного к свету, или на 12 порядков яркости[1]. Это свойство обеспечивается процессами, происходящими внутри глаза и составляющими механизм адаптации – возможность зрения приспосабливаться к переменным условиям освещения. Рассмотрим случай, когда человек длительное время фиксирует один цвет, после чего тот сменяется на другой. Первоначально в результате влияния исходного цвета субъективное ощущение наблюдателя (светлоты) не соответствует реальному значению нового цвета. Момент равенства наступит лишь по истечении некоторого промежутка времени. Данный переходный процесс носит название динамики адаптации цветового зрения и описывается математической функцией определенного вида. Согласно этому в статье ставится задача опытным путем установить вид функции, позволяющей максимально точно описать динамику адаптационного преобразования зрения.

Изменение яркости зрительной картины и светлоты зрительного ощущения во времени показано на рис.1. Как видно из графика, вслед за изменением яркости с низкого уровня на высокий происходит скачкообразный рост светлоты зрительного ощущения, уровень которой с течением времени снижается к установившемуся значению (рис. 1, б). Характер изменения светлоты в процессе адаптации органа зрения полностью аналогичен.

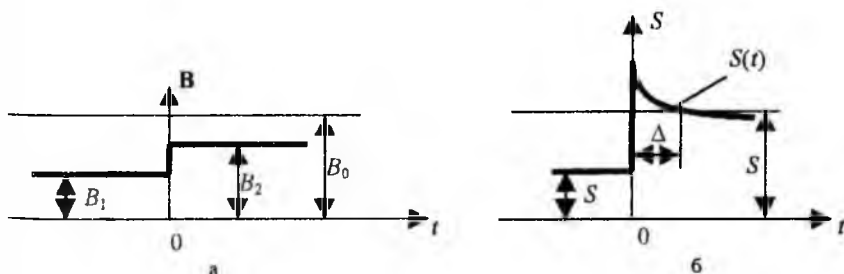


Рис.1

В ходе экспериментальной проверки модели адаптации зрения автором применялся компараторный метод идентификации объектов, при котором сознание наблюдателя используется в качестве довольно точного нуля-прибора, отмечающего равенство или неравенство светлот двух полей сравнения[2].

Постановка опыта выполнялась следующим образом. На экране персонального компьютера с помощью специально разработанной программы формируются два смежных поля сравнения. Испытуемый в течение 2 мин фиксирует взгляд на границе раздела областей (рис. 2).

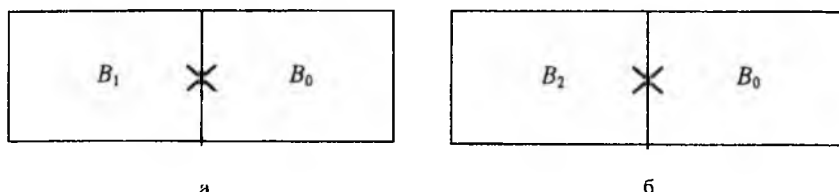


Рис. 2

На левое поле первоначально подается яркость B_1 , в момент времени $t=0$ сменяемая большей яркостью B_2 . На правом поле постоянно отображается некоторая яркость сравнения B_0 , выбираемая с выполнением условия $B_0 > B_2$ (рис. 1, а). При $t > 0$ на левом поле отмечается плавное изменение светлоты $S(t)$. В случае небольшой разницы сигналов B_0 и B_2 всегда существует момент времени Δt , когда светлота $S(\Delta t)$ левого поля становится равной светлоте правого поля S_0 :

$$S(\Delta t) = S_0. \quad (1)$$

Соотношение (1) следует из графика, показанного на рис. 1, б. Далее значение яркости B_2 изменяется в пределах (B_1, B_0) . Разным уровням светлоты S_0 правого поля соответствуют строго определенные значения времени Δt , при которых светлоты полей сравнения равны между собой. Проведение такого эксперимента позволяет исследовать весь переходный адаптационный процесс, имеющий место в органе зрения при скачкообразном изменении яркости зрительной картины.

Результаты опытов на пяти испытуемых в целях определения интервалов времени Δt при различных показателях B_2 приведены в табл. 1. Необходимо отметить, что исследовался только случай $B_1 < B_2 < B_0$ и не рассматривался вариант $B_0 < B_2 < B_1$. Другой особенностью является тот факт, что возраст участников составлял от 20 до 27 лет. Цвета и яркости полей сравнения могли устанавливаться произвольно по желанию экспериментатора. Цветность задавалась двумя координатами X и Y согласно условиям стандартной колориметрической системы МКО 1964. Описанные измерения проводились при начальных установках $X=0,2$, $Y=0,3$, $B_0=4$, $B_1=0,2$.

Таблица 1

Испытуемый	B_2							
	0,5	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
А	26±4	35±5	43±7	52±8	70±10	110±20	165±30	-
Б	4±4	10±3	15±4	18±5	23±7	31±10	46±14	-
В	-	-	7±6	13±7	19±8	28±12	43±17	67±33
Г	5±5	7±7	13±11	22±16	32±22	45±24	80±45	-
Д	8±6	14±6	21±7	29±9	36±9	45±9	67±17	-

Эксперименты показали, что с наступлением равенства светлот полей сравнения эффект не исчезал моментально, а сохранялся некоторый момент. Соответствующие интервалы времени указаны в ячейках табл. 1. Единицы измерения – секунды. Для описания динамики адаптации человеческого зрения была предложена формула

$$S(t) = B_0 \cdot (B_1/B_0)^{k \cdot e^{\frac{t_{cp} \cdot (k-1)}{m}}}, \quad (2)$$

где t_{cp} – среднее значение интервала времени; k и m – вычисляемые эмпирическим путем числовые коэффициенты. Наилучшее согласование теоретических и экспериментальных данных достигалось при $k=0,80 \div 0,85$, $m=3 \div 10$. Вычисленные значения B_2 для принимавших участие в опытах содержатся в табл. 2.

Таблица 2

Испыту- емый	k	m	B_2							
			0,5	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2
А	0,85	10	0,713	0,887	1,073	1,245	1,641	2,626	3,370	-
Б	0,85	3	0,550	0,854	1,200	1,421	1,858	2,453	3,060	-
В	0,80	4	-	-	1,004	1,363	1,656	2,215	3,110	3,677
Г	0,80	5	0,562	0,654	0,962	1,480	2,050	2,690	3,458	-
Д	0,80	7	0,594	0,802	1,074	1,405	1,698	2,062	2,809	-

За исключением очевидных промахов разброс теоретических данных и результатов исследований не превышает 20%. Следовательно, степень точности разработанной математической модели является довольно высокой. В качестве иллюстрации на рис. 3 показана графическая зависимость яркости от времени для испытуемого А.

На диаграмме результаты теоретических вычислений нанесены в виде штриховой линии. Ранее подобными экспериментами занималась группа исследователей под руководством проф. Шабанова-Кушнарченко[3]. Анализировался случай $B_0 < B_2 < B_1$ (рис. 1), не рассматриваемый в данной статье. Была создана математическая модель, аналогичная предложенной в [2], но с другими значениями числовых коэффициентов[4].

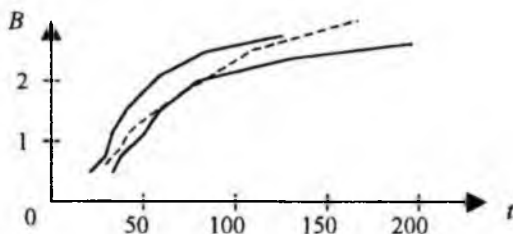


Рис. 3

В целях повышения результатов наблюдений явление адаптации исследовалось при различных значениях координат цветности полей сравнения X , Y . Точность результатов оставалась практически стабильной. Формула (2) использовалась как для моделирования яркостной адаптации, так и для изучения цветовой адаптации зрения. Эксперименты второго типа показали достаточную согласованность полученных значений с теоретическими выкладками. Будучи довольно сложным физиологическим явлением, временной контраст зрения получается комбинацией яркостной и цветовой его составляющих. Как было установлено, выражение (2) с определенным приближением позволяет описать оба эти явления. Отсюда можно сделать вывод, что используемая математическая модель с достаточной степенью точности характеризует процесс адаптации цветового зрения человека в целом.

Список литературы: 1. Джадд Д., Выецки Г. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978. 592 с. 2. Шабанов-Кушнарченко С.Ю. Компараторная идентификация многомерной количественной оценки. Докт. дисс. Харьков, 1995. 270 с. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Математическое моделирование некоторых функций человеческого зрения. Докт. дисс. К.: Ин-т кибернетики АН УССР, 1968. 273 с. 4. Бондаренко М.Ф. Математические модели адаптации зрения и их технические приложения. Канд. дисс. Харьков, 1969. 158 с.

Поступила в редколлегию 27.02.99

К.А. ЧУРИКОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ПРОЦЕССОВ В ОДНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

1. Постановка задачи

В работе [1] рассмотрены вопросы построения математических моделей и методы оптимизации размещения промышленных предприятий, выбрасывающих загрязняющие вещества, с учетом допустимого уровня загрязнения, определяемого санитарными нормами. Значительный практический интерес представляют задачи оптимизации выбора местоположения экологически значимых объектов, когда предприятия уже построены и функционируют. К таким объектам могут относиться дома отдыха, детские учреждения, резервуары питьевой воды и др. В качестве требований к искомому местоположению объектов выступают условия их размещения в заданном регионе, условия на расстояния между размещаемыми объектами и областями запрета, условия взаимного непересечения этих объектов и др. Целью размещения является минимизация уровня загрязнения в экологически значимых объектах.

2. Математическая модель и ее анализ

В общем случае экологическую систему можно представить как область (регион) $\Omega \in R^2$, содержащую неподвижные источники F_i ($i=1,2,\dots,m$) загрязнения среды. Геометрическая форма их носителей S_i ($i=1,2,\dots,m$) и местоположение источников в Ω заданы и характеризуются полюсами $X=(x^1, y^1, x^2, y^2, \dots, x^m, y^m)$. Местоположение размещаемых объектов G_j ($j=1,2,\dots,n$) определяется полюсами $Y=(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)$, и углами $Q=(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ их ориентации, а положение неподвижных областей запрета N_k ($k=1,2,\dots,z$) – полюсами $Z=(x_1^0, y_1^0, x_2^0, y_2^0, \dots, x_z^0, y_z^0)$ [2,3]. Процесс загрязнения описывается краевой задачей [1-3]:

$$Au=F, \quad (1)$$

$$B_k u = f_k, \quad (k=1,2,\dots,s), \quad (2)$$

где A – заданный дифференциальный оператор; $u(x,y,t)$ – функция, характеризующая пространственно-временное поле загрязнения; $t \in [0,T]$ – время, а T – период исследования процесса загрязнения; B_k – заданные операторы, характеризующие краевые условия; f_k – заданные функции; F – функция, описывающая источники в Ω , и имеющая вид

$$F = \begin{cases} F_i(x, y, t), & \text{если } (x, y, t) \in S_i; \\ 0, & \text{если } (x, y, t) \notin \bigcup_{i=1}^m S_i. \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, дано пространство параметров $W=(Y, Q)$, определяющих местоположение Y и ориентации Q областей G . Определена функция цели $\Phi(w)$, $w \in W$. Необходимо найти

$$w^* = \arg \text{extr } \Phi(w), \quad (4)$$

$$w \in W.$$

Область W описывается:

– условиями размещения областей G_j в Ω :

$$\mu_j(x_j, y_j, Q_j) \geq 0 (j=1, 2, \dots, n); \quad (5)$$

– ограничениями на расстояния M_{jk} между областями G_j и областями запрета N_k :

$$\beta_{jk}(x_j, y_j, Q_j, x_k^0, y_k^0) \geq M_{jk} (j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, z); \quad (6)$$

– условиями взаимного непересечения размещаемых областей G_j и G_e :

$$\psi_{je}(x_j, y_j, Q_j, x_e, y_e, Q_e) \geq L_{je} (j, e=1, 2, \dots, n; j \neq e); \quad (7)$$

– ограничениями на интегральные характеристики поля загрязнения в размещаемых областях G_j (например, непревышение суммарными загрязнениями u_j в областях G_j заданных значений u_j^*):

$$u_j(x_j, y_j, Q_j) \leq u_j^* (j=1, 2, \dots, n). \quad (8)$$

Способы формализации ограничений (5)–(7) рассмотрены в [1 - 3], а ограничения на результирующее поле загрязнения в экологически значимых объектах представляются в виде

$$\int_0^T \int_{G_j} u(x, y, t) dG_j = u_j(x_j, y_j, Q_j) \leq u_j^*, \quad (j=1, 2, \dots, n). \quad (9)$$

Функция цели $\Phi(w)$ в выражении (4) может иметь экологический, экономический или социальный смысл. Размерность задачи (4)–(8) равна $3n$, где n – число размещаемых объектов, а количество ограничений, описывающих область допустимых решений, равно

$$N = \frac{1}{2} n(n-1) + 2n + nz,$$

где z – число областей запрета. На результирующее загрязнение размещаемых объектов от выбросов промышленных предприятий налагаются нелинейные ограничения (8). В большинстве случаев эти ограничения не представляются в аналитической зависимости от оптимизируемых параметров в силу того, что функция u является решением довольно сложной задачи математической физики. Неравенства

(5)-(7) также нелинейные, в силу чего область допустимых решений многосвязная [3], что приводит задачу (4)-(7) к многоэкстремальным. Число локальных экстремумов зависит от количества и вида размещаемых объектов и областей запрета, а также вида пространственных форм области Ω . Кроме того, (4)-(7) относится к задачам управления системами с распределенными параметрами, поскольку процесс загрязнения описывается краевой задачей (1), (2) для уравнения в частных производных. Учитывая отмеченные особенности задачи (4)-(7), даже применение современных компьютеров не позволяет осуществить полный перебор допустимых решений и получить приемлемое для практики проектирования решение.

Отличительная черта рассматриваемого класса задач оптимизации размещения экологически значимых объектов по сравнению с задачами размещения источников физических полей [1-3] состоит в том, что изменение местоположения любого из размещаемых объектов не влияет на значение поля (уровня загрязнения) в других размещаемых объектах. Эта специфика дает возможность один раз осуществить решение краевой задачи (1), (2) для фиксированного местоположения источников, а затем, осуществив декомпозицию основной оптимизационной задачи на p подзадач (по числу размещаемых объектов), перейти к решению p более простых задач оптимизации. Например, пусть необходимо выбрать такое местоположение экологически значимых объектов, чтобы минимизировать уровень загрязнения в них. В этом случае имеем p функций цели вида

$$c_j(x_j, y_j, Q_j) \rightarrow \min \quad (j=1, 2, \dots, n), \quad (10)$$

минимальное значение каждой из которых ищется на областях W_j ($j=1, 2, \dots, n$) допустимых решений, при условии, что область с номером j размещается, а все остальные – фиксируются. Такая специфика задачи дает возможность воспользоваться методом минимизации по p группам переменных. При этом улучшение значения функции цели по параметрам размещения (x_j, y_j, Q_j) ($j=1, 2, \dots, n$) целесообразно осуществлять градиентным методом, эффективность которого апробирована в работе [4] на примере теплофизической системы.

3. Пример численной реализации

Возьмем за основу условие примера 3, приведенного в работе [1, с. 251], где рассматривается задача загрязнения от двух промышленных предприятий приземного слоя атмосферы типичного среднеширотного города, расположенного на берегу водохранилища с протекающей по нему рекой. Координаты расположения промышленных предприятий следующие: $x^1=33,75$ км, $y^1=15,75$ км; $x^2=20,25$ км, $y^2=13,5$ км. (рис.1). В этом регионе, внешняя граница которого очерчена сплошной линией, а области

запрета выделены пунктиром, необходимо выбрать местоположение трех экологически значимых объектов G_j ($j=1,2,3$) таким образом, чтобы обеспечить выполнение соотношения (10). Начальное местоположение размещаемых ориентированных ($Q_j=0, j=1,2,3$) областей взято по аналогии с другим примером (рис. 9.15 работы [1]), координаты полюсов (пересечение диагоналей) которых имеют следующие значения: $x_1=12,5$ км, $y_1=20$ км; $x_2=15$ км, $y_2=9$ км; $x_3=35,5$ км, $y_3=22,5$ км (рис.1).

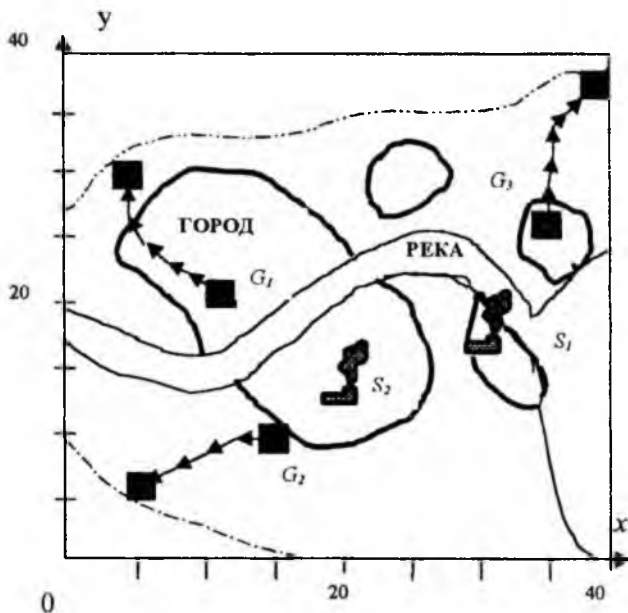


Рис. 1

Процесс распространения в атмосфере однокомпонентной пассивной примеси от двух непрерывно действующих промышленных предприятий описывается исходной (см. соотношения (2.1),(2.11),(2.14)-(2.16) в гл.9 работы[1]) либо сопряженной, по отношению к исходной, краевой задачей (см. соотношения (3.6) -(3.10)) в гл.9 работы[1]) со специальным заданием функции источников загрязнения.

Значения всех исходных параметров для расчета поля загрязнения приведены в [1] (пример 3, с. 251). Описание специфики применяемого в данной работе метода минимизации функции цели по группам переменных на основе градиентного подхода рассмотрено в [4].

На рис. 2 изображено поведение поля загрязнения (концентрации примеси) на высоте $z=2\text{м}$ для времени $t=15\text{ч}$ и местоположение размещаемых объектов, имеющих следующие координаты полюсов: $x_1=4,55\text{км}$, $y_1=28,5\text{км}$, $x_2=5,1\text{км}$, $y_2=5,2\text{км}$, $x_3=37,3\text{км}$, $y_3=36,1\text{км}$.

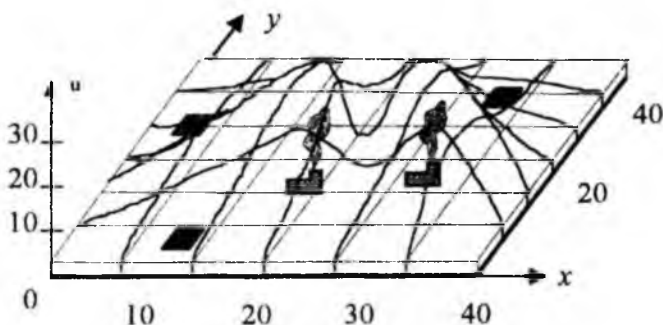


Рис. 2

Таким образом, рассмотренная математическая модель задачи оптимизации выбора местоположения экологически значимых объектов, с минимизацией уровня загрязнения в них, дает возможность организовать направленный процесс поиска допустимых вариантов их размещения.

Список литературы: 1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с. 2. Стоян Ю.Г., Путьтин В.П. Размещение источников физических полей. К.: Наук. думка, 1981. 184 с. 3. Стоян Ю.Г., Путьтин В.П. Оптимизация технических систем с источниками физических полей. К.: Наук. думка, 1988. 190 с. 4. Стоян Ю.Г., Путьтин В.П., Чуб И.А. Оптимизация температурного поля перфорированной пластины с дискретными тепловыми источниками // Докл. АН УССР. Сер. А. 1985. № 11. С. 64-67.

Поступила в редколлегию 21.04.99

А.Л. ТУРЕВСКИЙ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПРОБЛЕМНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Индустрия производства программного обеспечения на протяжении уже более четверти века является одной из наиболее быстрорастущих отраслей промышленности. Обладая выгодным соотношением доли необходимых интеллектуальных и материальных затрат, данная сфера позволяет наиболее полно реализовать интеллектуальный потенциал и деловые способности человека, не требуя значительного начального капитала. Постоянно увеличивающийся спрос на вычислительную технику и программное обеспечение привлекают в эту сферу множество крупных и мелких производителей, желающих реализовать свои идеи и получить доход. Эти и другие факторы привели к возникновению в отрасли информационных технологий множества несовместимых средств представления данных и знаний, что еще больше усугубляет наблюдающуюся в последние десятилетия проблему лавинообразного роста их количества.

Область управления информационными ресурсами находится на переднем крае современных исследований и в силу этого в ней ощущается недостаток основательных теоретических наработок. Объектом исследования являются наиболее общие закономерности построения информационных структур реальной и формализованной действительности, которые до последнего времени являлись, в основном, объектом изучения философии, психологии и других гуманитарных наук. Следует отметить их значительные достижения в области изучения реальных систем управления информацией (в первую очередь - человеческого интеллекта [1, 2] и др.), а также общих принципов целостности картины проблемной области (ПО). Наиболее ярко последнее направление изложено в [3]. К сожалению, эти идеи только в последние годы нашли своё применение в практических разработках. Также на этом этапе были получены ценные результаты в области оптимизации взаимодействия человека и внешней среды (см., например, [4] и [5]), послужившие основой для выработки принципов оптимального вмешательства человека в процессы управления информацией ([6] и др.). При этом параллельно и, как правило, независимо, развивались основанные на технических задачах и средствах принципы построения автоматизированных информационных систем. В результате была создана солидная теоретическая и практическая база [7, 8], однако слабо приспособленная для описания сложных компонентов реальной действительности.

Следующим важным этапом развития исследований стала попытка имитации интеллектуальных принципов управления информацией традиционными математическими и техническими средствами. Исследования в области кибернетики [9] и смежных дисциплин, а также дальнейшие разработки в различных областях искусственного интеллекта ([10-12] и др.), продолжающиеся и сейчас, дали значительные частные результаты, однако не смогли решить главной задачи - создать техническую систему, способную заменить человека при осуществлении интеллектуальной деятельности в сложных, слабо формализуемых областях. Фактически, интеллектуальные системы "научились" работать с относительно простыми проблемными областями, но оказались не в силах справиться с более сложными, где потребность в их применении ощущается намного острее. В то же время значительные усилия по приближению средств машинного моделирования к структуре реальной действительности были предприняты и в прикладных областях. В частности, возникла и нашла широкое применение концепция объектно-ориентированного подхода к разработке и созданию программных систем [13, 14], позволившая значительно повысить адекватность машинного моделирования.

В ходе дальнейшего развития исследований была выявлена причина такого положения. Было выдвинуто предположение ([15-18] и др.) о необходимости принципиально иного подхода к рассмотрению информационных потоков в ПО и их представления в "сознании" (как человеческом, так и, в переносном смысле, машинном) познающего субъекта. Основой такого подхода, по-видимому, может стать выдвинутая еще в начале века выдающимся украинским учёным В.И. Вернадским концепция ноосферы [19], обосновывающая необходимость учета на современном этапе гармоничного и неразрывного сочетания и взаимодействия всех существующих в природной среде факторов: как гео- и биологического или космического характера, так и возникших вследствие деятельности человека, воспринимая последние как закономерную часть природных процессов. Основой нового подхода, получившего название "системологического", является понимание системы с учётом как её места и назначения в структуре системы ПО, так и её внутреннего устройства, рассматриваемых в диалектическом единстве и взаимозависимости. Следует отметить, что в силу своей новизны системологический подход нашел своё применение лишь в небольшой части современных разработок (см. [20]), и потребуется, по-видимому, длительное время для его повсеместного внедрения.

В свете новых подходов особую важность приобретают вопросы адекватного понимания и, следовательно, моделирования структуры рассматриваемой ПО. Отсутствие наработанного математического аппарата описания такой структуры и нетрадиционная для точных наук постановка

самого вопроса сдерживают развитие разработок в этой области. Однако большой интерес, проявляемый в последнее время к этой проблеме со стороны различных научных направлений (см., например, [21]), позволяет надеяться на скорые положительные сдвиги.

Также представляют значительный интерес работы в области изучения способов и форм представления накопленных знаний о ПО.

В ходе развития исследований в области искусственного интеллекта вопросы представления знаний и данных получили множество интересных алгоритмических находок, однако всегда были одним из главных препятствий на пути развития интеллектуальных систем. В частности, представляет интерес традиционный для современных исследований реляционный подход к представлению информации, отличающийся наличием в его основе мощного математического аппарата [7, 8]. С другой стороны, теория искусственного интеллекта достигла значительных результатов в приближении структуры представления знаний к их форме в сознании познающего субъекта [10, 11, 15, 16]. При этом недостаточное внимание уделялось форме представления информации в ЭВМ. На современном этапе ставится задача совмещения этих подходов в целях повышения эффективности их использования.

В связи с этим в последнее время все активнее проявляется необходимость создания многофункциональных систем управления знаниями. Потребности интенсивного информационного обмена требуют ускорения процесса усвоения знаний как человеком, так и автоматизированными устройствами с учетом совместимости формы ее представления в различных средах. Кроме того, в современных условиях никакая система, даже полностью соответствующая предъявляемым к ней на момент создания запросам, не может рассчитывать на продолжительную и эффективную эксплуатацию (являющуюся неперенным условием ее экономической окупаемости), если в ней отсутствуют средства адаптации к меняющимся условиям окружающей действительности.

Для решения этих проблем необходима реализация новых средств управления информацией, способных справиться со всем её современным многообразием.

Работа посвящена исследованиям в области средств представления знаний сложной структуры, а также решению вопросов практической реализации программных систем, реализующих такие средства, в автоматизированных системах моделирования на основе ЭВМ традиционной архитектуры.

В процессе разработки большое внимание было уделено обеспечению переносимости оболочки, достигаемой использованием, по возможности, функций ОС, не зависящих от текущей аппаратной платформы. При разработке использовались современные инструментальные средства и

идеологии проектирования и программирования, учитывались требования к эргономическим характеристикам рабочего места оператора и стандартизации системных интерфейсов.

Как было отмечено ранее, принципы и средства представления данных и знаний в интеллектуальных системах должны обладать общностью и независимостью от характера представляемой действительности и его физической либо абстрактно-умозрительной природы.

Для выполнения указанных требований предлагается схема представления моделей ПО, характеризующаяся общностью и минимальной привязкой к предполагаемой структуре и средствам моделирования, и способная представлять различные современные средства и формы формализации знаний.

При проведении разработок, прежде всего, учитывались условия:

1) универсальности – разрабатываемые принципы и средства должны быть применимы для моделирования произвольных проблемных областей независимо от их внутренней структуры;

2) независимости – функционирование систем, построенных на основании разрабатываемой технологии, не должно зависеть от текущего аппаратного и программного окружения;

3) совместимости – модели, созданные в рамках данной разработки, должны одинаково пониматься всеми поддерживающими её средствами в любой программной и аппаратной среде;

4) неограниченности – должны отсутствовать ограничения на структуру и размерность хранимой информации (за исключением, возможно, требований, обусловленных аппаратными рамками);

5) надежности – работа системы должна быть надежной и безошибочной;

6) защищенности – обеспечение защиты содержащейся в системе информации;

7) простоты – принципы концептуальной модели и практической реализации системы должны быть доступны пользователю средней квалификации в необходимых для его практической деятельности объемах;

8) доступности – характер взаимодействия с системой не должен оказывать значительного отрицательного влияния на процесс работы во временном и эргономическом аспектах.

Опишем формы реализации и использования моделей проблемных областей в рамках предложенной системы. Известно [11,12], что всякую систему управления базами знаний можно условно разделить на три уровня представления. На высшем, концептуальном, уровне рассматриваются средства, оперирующие когнитивными понятиями и категориями. Средний, логический, уровень, осуществляющий поддержку высшего,

включает процедуры работы с информационными структурами, представляющими знания, абстрагируясь от их физического представления. И, наконец, нижний, физический уровень, являющийся поддерживающим для логического уровня, осуществляет хранение и первичную обработку информации, представленной на физических носителях.

Разрабатываемые средства должны, прежде всего, обеспечивать единую форму взаимодействия с базой данных на логическом уровне, независимую как от характера физической и программной среды функционирования системы, задаваемой на физическом уровне её представления, так и от моделей, используемых при проектировании высшего, концептуального уровня. Стандартизация и унификация интерфейсов логического уровня позволит использовать в рамках одной интеллектуальной системы различные средства моделирования понятийных структур человека (например, фреймы и продукции), что может значительно повысить качество работы таких систем. Продуктивность такого подхода подтверждена опытом проектирования и разработки многих современных экспертных систем [11, 12, 23].

Другой важной задачей разработки является создание надежных и мощных процедур физического управления знаниями, способных на необходимом уровне обеспечить выполнение запросов средств высших уровней. При этом главной целью разработки должно стать устранение физических ограничений на пути и характер развития форм и методов представления знаний. На основе описанных требований представляется возможным предложить такие способы представления моделей ПО:

1) Любое подмножество моделируемой действительности может быть представлено в виде сетевой иерархической структуры, содержащей объекты четырёх описываемых далее видов. Данное утверждение основывается на выводах, независимо полученных в результате исследований психологов, лингвистов, философов и специалистов других дисциплин, показавших универсальный характер базовых элементов понятийного комплекса человека вне зависимости от среды и объекта познания. Обзор таких исследований был дан, в частности, в [24] и [25]. Там же можно найти ссылки на более подробные исследования.

2) Все сущности ПО, понимаемые как обособленные объекты рассмотрения (независимо от их внутренней структуры и физического содержания), могут быть представлены в виде классов, понимаемых как совокупность хранимой в базе информации об их характеристиках. Достаточность такого представления следует из достаточности для описания объекта характеристик его положения в системе понятий ПО (описанных в виде статичных свойств и динамических отношений с другими объектами), а также описания в некотором виде алгоритмов изменения таких свойств и связей во времени.

3) Описывающие классы характеристики делятся на три вида: свойства, связи и процедуры.

4) Свойство класса есть выраженная в числовом, символьном или каком-либо ином виде характеристика, описывающая признак, принадлежащий классу изначально, как сущности, вне связи с другими объектами и явлениями, и предполагаемый статичным во времени. Величина, характеризующая свойство, может иметь произвольную структуру и размерность.

5) Связь класса с другим классом есть однонаправленное отношение между классами, характеризующее имеющуюся между ними ассоциативную либо иную связь, отношение или другой признак, зависящий от свойств обоих классов.

6) Процедура есть алгоритм изменения состояния (свойств и т.п.) данного класса, а также других объектов вследствие некоторых возникших причин.

7) Класс, свойство, связь и процедура с точки зрения программной реализации являются родственными понятиями и наследуют от общего предка - абстрактного элемента данных - ряд общих свойств. К ним относятся:

а) уникальный идентификатор элемента данных, присваиваемый при его создании и не меняющийся всё время его существования;

б) идентификатор типа данных, представленный универсальным целым значением и содержащий информацию о принадлежности элемента к одному из четырёх типов (класс, свойство и т.д.) и подтипу (например: целое, строковое свойство) данных;

в) имя, понимаемое как индекс элемента таблицы атомарных значений, в которой содержатся универсальные строковые значения, не зависящие от текущих региональных установок;

г) идентификатор родительского элемента (для зависимых типов данных содержит идентификатор класса-владельца), набор признаков элемента данных (флаговое значение), характеризующих особенности представления их в этом элементе.

8) Предполагается достаточность определенных выше четырех типов структур для описания модели любой ПО, независимо от её физической сущности и внутреннего содержания.

Следует отметить сходство предложенной модели с некоторыми наиболее развитыми средствами представления знаний в интеллектуальных системах. Видимо, наиболее близкой к ней является фреймовая парадигма. Основным преимуществом разработанных средств перед имеющимися является возможность реализации на основе разработки большинства имеющихся форм представления знаний статического (фреймы, семантические сети) и динамического (продукции и др.) характера. Для них характерно отсутствие (в отличие от фреймовой модели)

строгого ограничения на разнообразие типов объектов моделирования и отношений между ними, а также (в отличие от иерархических систем) ограничения многообразия связей их нециклическим характером.

При проектировании системы был разработан алгоритмический язык специального назначения, текущая версия которого реализована в данной работе. Основные концепции предложенного языка:

1) Язык является процедурным средством общего назначения, расширенным для работы с данными и знаниями.

2) Все элементы данных языка являются полями записей базы и не могут существовать вне ее.

3) Обеспечивается базовый универсальный уровень интерфейса с пользователем без привязки к особенностям используемой аппаратной и программной среды.

4) Все ключевые слова традиционных языков заменены комбинациями специальных символов, что обеспечивает независимость от родного для пользователя естественного языка.

5) Базовым элементом языка является процедура записи базы данных/знаний, понимаемая как алгоритм изменения состояния (свойств и т.п.) данного класса, а также других объектов ПО вследствие некоторых возникших причин. В частности, событие как вид процедуры есть механизм реакции и адаптации объектов к некоторому изменению глобального состояния ПО, понимаемого как совокупность состояний всех составляющих его сущностей.

Рассмотрим физический уровень представления информации. Информационная база представляет собой обобщенную схему структуры моделируемой проблемной области, представленную в виде ориентированного графа. Узлами такого графа являются описания рассматриваемых в данном контексте объектов или понятий, сопровождаемых описаниями присущих им статических и динамических свойств, выраженных в структурно-количественном или процедурном виде, а дуги помечены значениями, описывающими типы имеющихся между узлами взаимосвязей.

Кроме того, в базе хранится дополнительная информация, позволяющая полнее формализовать свойства основных объектов. К ней относятся таблицы атомарных значений, переадресации, прав доступа, а также системные таблицы, предназначенные для хранения сведений о размещении информации в оперативной памяти и на внешних носителях.

Для более полного понимания структуры и возможностей системы вначале опишем форму представления в системе используемых ею элементарных типов данных. Базовым понятием системы, как и любой другой информационной компьютерной системы, является понятие числа, в частности, целого числа (на текущий момент понятие вещественного числа не имеет особой реализации в рамках системы и определяется исходя из требований аппаратного и программного окружения).

Целочисленные значения, а также глобальные идентификаторы элементов, флаговые значения и другие типы данных, сводимые к целому, представляются в следующем виде: поле размера - 4 байта, хранящие размер информационного поля в байтах, затем 1 байт признака знака (0 - отрицательное, любое другое значение - положительное) и информационные байты в количестве, определяемом полем размера. Биты в поле размера и информационном поле должны следовать в порядке "младшие-первыми". Максимальное количество информационных байтов составляет, таким образом, $4 \cdot 294 \cdot 967 \cdot 296$, что позволяет представлять числа в диапазоне приблизительно от $-10^{(10^9)}$ до $+10^{(10^9)}$. Такая размерность целочисленных значений практически снимает проблему фиксирования ситуации целочисленного переполнения и ограничений разрядной сетки, что позитивно скажется на общей надежности и эффективности программных систем. Кроме того, она упрощает представление в системе флаговых и системных значений, а также глобальных идентификаторов, способствующих снятию реальных ограничений на размер и количество хранимой в системе информации.

Основным элементом базы является таблица данных/знаний, хранящая основное информационное содержание системы. Она представлена в виде двухуровневого списка следующей структуры:

- 1 уровень: таблица пулов (наборов в терминах CODASYL) - в памяти представляется динамическим массивом описателей пулов, хранящих информацию об их состоянии и размещении в системе.
- 2 уровень: пул (набор в терминах CODASYL) - каждый пул хранит информацию о состоянии и размещении некоторого подмножества взаимосвязанных данных/знаний.

Двухуровневая система представления информации позволяет обеспечить группировку взаимосвязанных элементов данных/знаний в целях оптимизации временных характеристик доступа к ним.

Таблицы пересадсасии представляют собой списки соответствий глобальных идентификаторов элементов знаний, используемых при адресации в системе, и идентификаторов их физического положения в базе. С их помощью достигается возможность физического переупорядочения информации в системе без необходимости коррекции глобальных идентификаторов в ссылочных элементах базы.

Таблицы атомарных значений реализуют метод оперирования символической естественно-языковой информацией в компьютерных системах. Как известно, одним из существенных препятствий на пути распространения ПО был и остается языковой барьер. Системы, в которых не предусмотрены специальные средства поддержки локализованных версий, требуют значительных материальных и временных затрат для их приспособления к нуждам

иноязычных пользователей. В данной разработке предпринята попытка создать универсальный путь преодоления такого барьера.

Основой предложенной транслингвистической концепции является введение нового понятия строковой величины не в виде линейного набора информационных (8-, 7- или 16-битовых) значений, что традиционно для современных диалоговых и информационных систем, а в виде унифицированного смыслового комплекса (УСК), являющегося отражением соответствующего данному лингвистическому термину абстрактного и обобщенного понятия, существующего в сознании некоторой общности людей. В компьютерных системах УСК выступает в виде набора представлений соответствующего понятия на некотором множестве естественных либо формальных языков, вызывающих интерес у потенциального круга пользователей системы. Кроме того, возможно внесение в систему базового представления УСК на некотором универсальном языке представления знаний, обеспечивающего однозначность трактовки понятия независимо от контекстной и лингвистической ситуации. Однако разработка такой концептуальной модели является сложной комплексной задачей в области психологии, теории информации, других смежных дисциплин, и требует отдельных глубоких исследований. В свою очередь, представления данных на каждом языке должны обеспечивать возможность описания отдельными непересекающимися областями всего множества символьных наборов языков народов мира для облегчения идентификации использованного при создании сообщения набора символов. На данном этапе представляется возможным принять в виде универсальной системы кодирования символов 16-битовый набор UNICODE, используемый корпорацией Microsoft в ее операционной системе Windows NT.

Основной областью применения разработанной системы является автоматизация создания концептуальных классификационных моделей в экспертных системах различного назначения. Предоставляемые системой средства позволяют выражать в машинно-ориентированном виде сложные структуры объектов и отношений, характерные для таких моделей. Возможность применения системы как информационной основы интеллектуальных средств показана опытом её использования при построении системы концептуальных классификационных моделей в научно-учебной лаборатории Приобретения знаний. Другой важной сферой применения системы является использование её в учебном процессе вузов как наглядного образца объектно-ориентированной (а также фреймовой, продукционной и т.п.) системы, позволяющего углубить и закрепить знания студента, полученные в ходе изучения объектно-ориентированной методологии программирования и проектирования и дисциплин, относящихся к теоретическим и практическим вопросам искусственного интеллекта.

Ещё одной сферой применения является разработка коммерческих систем управления базами данных и знаний, ориентированных на использование в областях, где представляется нерациональным сведение информационных структур к реляционному типу. В частности, к таким областям относятся базы данных, содержащие слабоформализованную информацию, каждый элемент которой может иметь уникальную структуру и значительную размерность.

В процессе разработки системы были выделены два основных направления её дальнейшего развития. Первым из них является повышение интеллектуальных возможностей программного средства в сфере автоматизации труда специалиста по знаниям, работающего с системой. Второе необходимое направление развития дальнейших разработок - усовершенствование формы хранения и алгоритмов обработки классификационных данных в ЭВМ. Особого внимания требует развитие специализированных расширений разработанной системы - механизмов событийного управления информацией, новых подходов к организации пользовательского интерфейса на основе модели «равноправного взаимодействия», алгоритмов контроля целостности и восстанавливающей коррекции данных, создания гибкого языка запросов к базам данных и знаний, способного работать со слабоструктурированной естественно-языковой информацией, средств визуализации структур данных и знаний, алгоритмов разделения доступа пользователей к информационным ресурсам. Также должна быть обеспечена независимость программного интерфейса и формата хранения данных от аппаратного и программного окружения системы и сохранение принципа ее открытости, что позволит в дальнейшем обеспечить её сопряжение с приложениями - потребителями информации. Этому способствуют открытость и унификация программного интерфейса, стандартизация используемых системой средств ОС и внешней среды.

Большой интерес представляет проблема внедрения новых принципов в имеющиеся информационные системы. Учитывая универсальных характер предложенных решений, рационально внедрять такие решения как базовую модель нижнего уровня, способную обеспечить эмуляцию используемых современными системами средств работы с данными. При этом будет обеспечена как перспектива развития имеющихся систем, так и возможность их прозрачного сопряжения с новыми разработками на основе предложенной модели.

В результате работы были изучены средства представления в автоматизированных системах концептуальных моделей сложных слабоструктурированных ПО. Выбрана форма представления таких моделей, основанная на понятиях "класса", "свойства", "связи" и "процедуры".

Разработанные средства позволяют оперировать как статическими (подобными фреймам), так и динамическими (процедурными) объектами. Создана программная система поддержки формирования и ведения баз знаний и данных, реализующих такие модели. Учтены требования надежности, защищенности и эффективности программных средств. Разработанная система может найти применение в системах управления базами данных и знаний различного назначения

Список литературы: 1. Шалютин С.М. Искусственный интеллект: гносеологический аспект. М.: Мысль, 1985. 199 с. 2. Лингвистическая прагматика и общение с ЭВМ. Издание АН СССР. М.: Наука, 1989. 142 с. 3. Вернадский В.И. Живое вещество, два синтеза космоса. В сборнике: Начало и вечность жизни. М.: Сов. Россия, 1989. 702 с. 4. Перинков В. И., Савицкий В. А. Толковый словарь по информатике. М.: ФиС, 1991. 543 с. 5. Венди В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. М.: Машиностроение, 1982. 344 с. 6. Коуте Р., Вилатник И. Интерфейс "человек - компьютер". М.: Мир, 1990. 501 с. 7. Толковый словарь по искусственному интеллекту. М.: РиС, 1992. 254 с. 8. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. М.: Мир, 1978. 616 с. 9. Гроу Н. Логика, алгебра и базы данных. М.: Машиностроение, 1989. 368 с. 10. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в живом и в машине. М.: Сов. радио, 1958. 11. Осуа С. и др. Приобретение знаний. М.: Мир, 1990. 303 с. 12. Осуа С. Обработка знаний. М.: Мир, 1989. 292 с. 13. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения. К.: Диалектика, 1992. 519 с. 14. Страуструп Б. Язык программирования C++. К.: Диалектика, 1992. Тт. 1, 2. 15. Гаврилова Т. А., Червинская К. Р. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем. М.: Радио и связь, 1992. 200 с. 16. Мельников Г.И. Системология и языковые аспекты кибернетики. М.: Сов. радио, 1978. 368 с. 17. Шрейер Ю. А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982. 152с. 18. Основы системологии: Учебное пособие. М.Ф. Бондаренко, Е.А. Соловьева, С.И. Маторин. К.: УМК ВО, 1996. 80 с. 19. Соловьева Е. А., Бондаренко М. Ф., Маторин С. И., Павлов П. Ф. Проектирование банков естественных языковых знаний. К.: УМК ВО, 1992. 136 с. 20. Материалы симпозиума "Модели мира". В сборнике: Новости искусственного интеллекта. 1996 № 1. М.: АПИ, 23. Попов А.С. и др. Статические и динамические экспертные системы. М.: РиС, 1992. 284 с. 24. Соловьева Е.А., Маторин С.И. О моделировании системы понятий деловой прозы. В сборнике: «Базы данных и знаний в автоматизированных региональных системах». К.: Наук. думка, 1991. С. 164-177. 25. Бурлин А.С., Кузнецов В.И. Системная организация баз данных и баз знаний. В сборнике: «Базы данных и знаний в автоматизированных региональных системах». К.: Наук. думка, 1991. С. 149-156.

Поступила в редакцию 23.11.98

О.С. ПОНОМАРЕНКО

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ CASE-СРЕДСТВА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

При создании программного обеспечения (ПО) влияние человеческого фактора влечет за собой низкую эффективность и производительность разрабатываемого ПО. Так, по мере развития методологий разработки ПО осуществлялась и их автоматизация. В промышленности уже существовали такие системы, как CAD (Computer Aided Design - автоматизация проектирования) и CAM (Computer Aided Manufacturing - автоматизация производства). В сфере разработки ПО аналогичные системы появились значительно позже, и им соответствовала CASA (Computer Aided System Analysis - автоматизация программирования). Их объединение и породило CASE (Computer Aided Software Engineering). В отечественной литературе термин CASE переводится как "автоматизация проектирования и реализации ПО", где под проектированием понимается все, что предшествует реализации. Годом рождения CASE считается 1984, когда на рынке ПО появились первые графические средства анализа.

Внедрение CASE-средств в процесс автоматизации создания ПО уменьшило количество разработчиков и повысило их профессиональный уровень в результате изъятия из их повседневного труда низкоинтеллектуальных операций. Современные CASE-средства позволяют достаточно просто создавать графические интерфейсы различных типов, легко формировать нормализованные базы данных, представляют удобный интерфейс для создания проектной документации, формируют скелет кода и т.п.

В основе любого из подходов к созданию ПО (структурный, объектно-ориентированный и т.п.) лежит определенное представление о жизненном цикле ПО. Жизненный цикл - это тот путь, который проходит ПО от зарождения идеи его создания до изъятия из эксплуатации [1]. Таким образом, жизненный цикл - это модель процесса разработки и сопровождения ПО. Одним из первых таких циклов стала модель, согласно которой процессы кодирования и разработки ПО начинаются почти одновременно. В основе такого подхода лежит представление о том, что написание программы, ее отладку и последующую аппроксимацию к фактическим требованиям пользователя необходимо осуществлять на как можно более ранней стадии. В результате отсутствия предварительных этапов анализа и проектирования ПО как продукт имеет низкие характеристики качества, а последующая модификация его крайне затруднена.

Позднее появилась так называемая каскадная модель жизненного цикла. Она предполагает наличие последовательных этапов: анализа, проектирования и реализации (значительно позже был добавлен еще один этап -

стратегического планирования). Данная модель существенно улучшила своего предшественника, однако еще не были сформированы методологии поддержки отдельных этапов и процесса разработки ПО в целом. Одной из первых методологий была структурная, которая и стала основой для возникновения ныне популярной объектно-ориентированной методологии. Каскадная модель является громоздкой и трудоемкой при создании "больших" программных систем, так как в ней реализован цикл с лавинообразным нарастанием сложности. Также эта модель несовместима с эволюционным подходом и перспективными методологиями проектирования [4].

Учитывая недостатки каскадной модели, были предложены спиральная и объектно-ориентированная модели разработки ПО. Однако их применение в автоматизации процесса создания ПО не улучшило качества создаваемых систем, так как каждое из применяемых CASE-средств ориентировано на определенный этап разработки ПО (анализ, проектирование, генерация кода и т.п.) и, следовательно, для поддержки всех этапов жизненного цикла необходимо последовательное применение нескольких CASE-средств. Взаимодействие между используемыми средствами автоматизации происходит посредством человека, что приводит к дополнительным трудностям и большим затратам на промежуточных этапах.

Следовательно, чтобы значительно повысить эффективность применения CASE-средств и ускорить создание ПО, необходима концепция сквозной поддержки всех этапов жизненного цикла при помощи одного комплекса программных средств. Подобный комплекс должен представлять собой интеллектуализированное CASE-средство, осуществляющее процесс сквозной поддержки и взаимодействия между другими CASE-средствами. Для создания такого комплекса необходимо выбрать жизненный цикл, который соответствовал бы уровню интеллектуализации системы и уровню качества создаваемого ПО.

На многих этапах разработки ПО возможно использование средств интеллектуальной поддержки, однако стройности и однообразия в этих функциях не существует. При анализе процесса создания проекта, т.е. как на самом деле происходит переход от одного этапа к другому, получена схема унифицированного жизненного цикла разработки ПО (рис. 1). Унифицируемость данной модели была достигнута путем добавления нового этапа, который контролирует этапы разработки ПО, очередность их исполнения и взаимосвязь между ними.

Особенностью цикла является выделение этапа интеллектуального анализа и эволюции. Этап же тестирования разделен на два по своей сути различных этапа: формального тестирования и интеллектуального тестирования. Формальное тестирование требует четких спецификаций и определений. На этом этапе проводится тестирование путем полного перебора возможных классов входных данных, событий, ситуаций, направлений

вствления и т.п. К ним относятся методы «черного» и «белого ящика». Тестирование при помощи перечисленных методов может быть проведено для определенных типов языков программирования с использованием стандартных процедур анализа классов входных данных и исходного кода проекта.

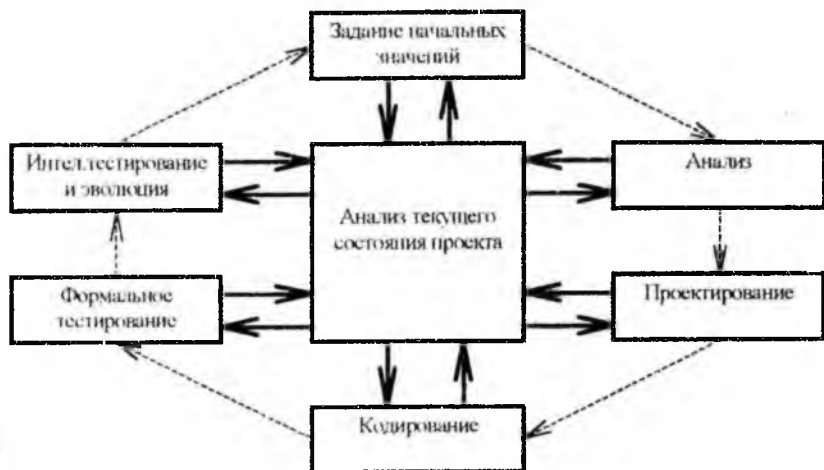


Рис. 1

Однако подобное тестирование не гарантирует выявления всех ошибок, касающихся логики программы, а также соответствия функционирующего программного продукта спецификациям, целям, задачам проекта, определенным на начальных этапах разработки. Ошибки подобного типа являются трудно определяемыми и наиболее существенными, поэтому для их выявления можно использовать лишь эвристические методы и сложные методы анализа. Этап тестирования при разработке ПО является наиболее важным, однако методы его формализации отсутствуют, так как в настоящее время он реализуется исключительно человеком. При сотрудничестве человека и ЭВМ на этапе интеллектуального тестирования повысится качество и эффективность работы системы в целом. Данный этап является логически обособленным по отношению к остальным этапам. Он требует для своей реализации специальных подходов и интеллектуальных средств поддержки.

В предложенном жизненном цикле разработки ПО этап эволюции, как таковой, не выделяется. В некоторых подходах к разработке ПО этап эволюции определен как постоянное совершенствование и улучшение ПО на основе результатов эксплуатации его пользователем и в соответствии с изменяющейся конъюнктурой рынка. В результате эволюционного развития ПО происходит изменение начальных требований, спецификаций, целей и задач, поэтому необходим процесс реинжиниринга (доработки) програм-

много продукта [4]. Интеллектуальный анализ проекта устанавливает соответствие проекта текущим задачам и целям, поэтому доработка программного продукта может быть осуществлена путем непосредственного возвращения на этап анализа и переходом на последующие этапы. Таким образом, этап интеллектуального анализа и этапы жизненного цикла ПО полностью включают в себя цели и задачи этапа эволюции.

Также выделяется этап анализа текущего состояния проекта, который наступает в каждом случае, когда необходимо принять решение о дальнейшем развитии проекта. В процессе разработки ПО переход между этапами может происходить в любом порядке, причем для каждой логически обособленной части проекта, независимо от проекта в целом. Единственным ограничением является невозможность перехода к следующему этапу без завершения соответствующих и достаточных частей работ на предыдущем этапе. Этап анализа текущего состояния проекта всегда инициирует и завершает любую транзакцию и обязательно является промежуточным при переходе от одного этапа к другому. Ранее он считался естественной составляющей при разработке ПО, так как не занимал большого количества времени. Однако при автоматизации процесса разработки ПО и широкой интеллектуализации CASE-средств этот этап является незаменимым и предполагает наибольшее число интеллектуальных усилий. Введение этого этапа устраняет также монополию человеческого звена при управлении процессом разработки.

На этапе анализа текущего состояния проекта выполняются следующие задачи:

- управление ресурсами: анализ и прогноз стоимости проекта, объем необходимых материальных и финансовых ресурсов и т.п.;
- управление штатом: статистика результативности и качества работы разработчиков, объем работ, распределение работы между разработчиками;
- управление сроками и задачами: инициализация и завершение проекта, слежение за соблюдением сроков, прогнозирование темпов развития;
- поддержка принятия решения менеджера проекта, в том числе решения о переходе от одной стадии к другой, предварительная оценка качества решений менеджера проекта и последующая оценка результатов решений;
- сбор и обработка статистики, касающейся ведения проекта.

На основе унифицированного цикла представим архитектуру интеллектуальной автоматизированной системы создания ПО, основанной на архитектуре клиент - сервер (рис.2). Основными составными частями архитектуры интеллектуального CASE-средства нового поколения являются: репозиторий, интеллектуальное ядро и набор CASE-средств. CASE-средства обращаются за данными к репозиторию и ведут себя в соответствии с правилами, определенными интеллектуальным ядром, получая от него постоянную интеллектуальную поддержку.

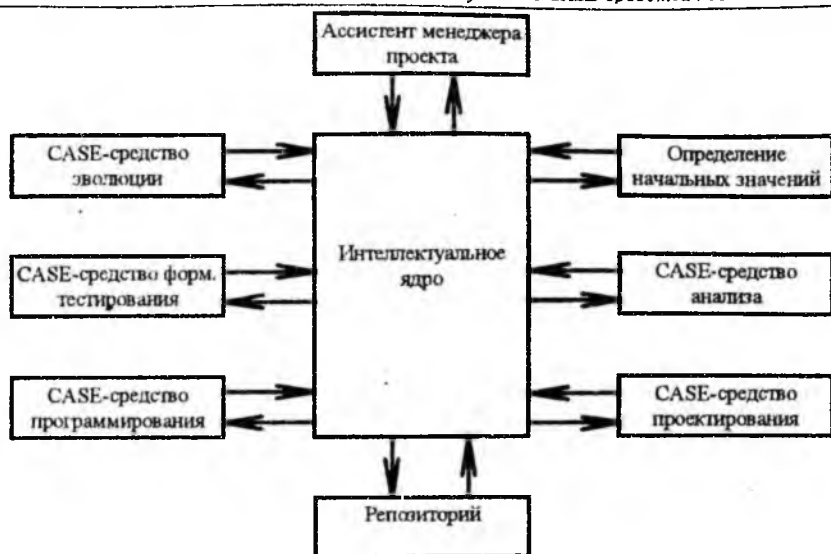


Рис.2

Для полноценной интеллектуальной поддержки управления проектом выделяется специальное CASE-средство - Ассистент менеджера проекта, которое является основным приемником результатов работы интеллектуального ядра. Остальные CASE-средства являются специализированными для каждого из этапов разработки ПО. Взаимодействие между CASE-средствами происходит через репозиторий при поддержке интеллектуального ядра. Состав CASE-средств для каждого конкретного проекта может изменяться в зависимости от объема, целей и задач проекта. Каждое CASE-средство может иметь свои локальные данные, но учитываемыми и актуальными они становятся только после перенесения их в репозиторий.

Список литературы: 1. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения / Пер. с англ. М.: Конкорд, 1992. 519. 2. Shlaer S., Mellor S.J. Object-oriented systems analysis // Modeling the word in data. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New York, 1988. 3. Shlaer S., Mellor S.J. An object-oriented approach to domain analysis // Software Engineering Notes. A.C.M. Press, New York, July, 1989. 4. Bachman Ch., A CASE for reverse engineering, Datamation 34, 13 (July, 1988). 49-56 p. 5. Moore J. and Bailin S. Position Paper on Domain Analysis. // Laurel, MD: CTA Incorporated, 1988. P. 2-22.

Поступила в редколлегию 01.10.98

Ю.В. ЛАНДГРАФ

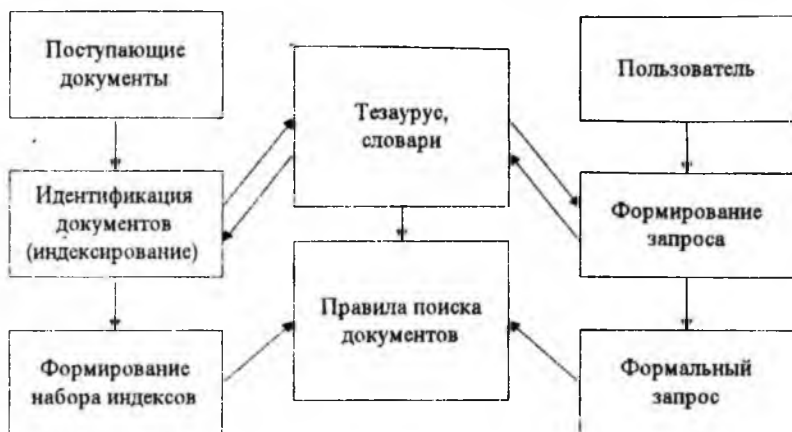
ТЕХНОЛОГИИ ПОИСКА ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Потоки информации, получаемой специалистами в различных областях знаний из разнообразных источников, неуклонно растут. Согласно статистике, общее количество доступной информации удваивается каждые четыре-пять лет. К сожалению, несмотря на почти экспоненциальный рост количества информации, наши возможности по ее поиску и извлечению необходимых сведений, наоборот, уменьшаются.

В связи с бурным развитием компьютерных технологий возросла роль различных информационных систем, особенно информационно-поисковых систем (ИПС), позволяющих осуществлять быстрый поиск информации в глобальных информационных хранилищах данных. Особенно актуально внедрение ИПС в связи с бурным ростом сети Интернет, которая на данном этапе позволяет получить доступ к обширным базам данных и разнообразной информации, расположенной на Web-сайтах практически во всех уголках земного шара. Большая часть этой информации поступает из Интернет, где она существует в электронной форме в виде текстовых документов, что позволяет создавать специальное программное обеспечение для нахождения нужной информации по каким-либо заданным критериям. Среди ИПС наиболее распространены системы, использующие лексические методы поиска, такие, например, как поиск по ключевым словам [1]. Несмотря на очевидные положительные результаты, данный подход не решил проблему поиска информации, так как очень часто пользователь в ответ на запрос получает документы, которые на самом деле иррелевантны к данному запросу, и наоборот, часть релевантных документов попросту не может быть найдена, поскольку они могут не содержать каких-то ключевых слов. В качестве примеров таких систем можно привести очень популярные во всем мире поисковые Интернет системы Infoseek, Yahoo, Lycos и т.д.

Таким образом, на сегодняшний день остается актуальной проблема определения смысла документа, т.е. того, о чем идет речь в документе. Смысловое представление необходимо для того, чтобы определить, какой документ соответствует запросу, а какой нет. Следовательно, современная ИПС должна хранить не только сам документ, но и некую модель, определяющую содержание документа.

Логическая организация условной информационно-поисковой системы может быть представлена в следующем виде (рисунок):



В соответствии с данной схемой основные характеристики каждого поступающего документа (автор, название, тема) определяются на этапе индексирования. Администратор или система, составляющая индекс, может обращаться к поисковым тезаурусам и/или вспомогательным словарям для того, чтобы назначить соответствующие индексные термины каждому документу. Для каждого документа формируется набор индексов для последующего использования при поиске документов.

Пользователь при формировании запроса также может использовать тезаурус и словари, но поскольку большинство пользователей не имеют представления о том, какие словари они могут использовать для формирования информационно-поисковых запросов, то это приводит к ошибочным результатам, так как словари, используемые пользователем, могут не совпадать со словарями, используемыми системой.

Сам по себе поиск и извлечение информации осуществляется путем сравнения по особым правилам набора индексов и формального запроса. Смысл этих правил – поиска документов – состоит в том, что система должна по запросу выбрать все и только те индексы, которые попадают в подмножество индексов, определяемое запросом.

Таким образом, система извлечения документов включает в себя 3 основные части:

- хранилище документов или их представлений;
- пользователи системы, требующие удовлетворения их информационных потребностей;
- правила поиска документов, которые сравнивают представление документов с представлением пользовательских запросов.

Недостатки в классических ИПС заставили пересмотреть подход к проблеме информационного поиска. Стало очевидным, что большей эффективности можно достигнуть, если перейти от лексического к более перспективному семантическому поиску, тем самым переведя ИПС в класс Интеллектуальных Информационных Систем.

За последние годы были предприняты различные подходы к решению проблемы поиска информации, учитывающие семантику информационных документов. В частности, были разработаны методы, основанные на деревьях решений и индукционных правилах, нелинейной регрессии и классификации, нейронных сетях [2].

В данной статье исследуется еще один метод для поиска информации – метод латентно-семантического индексирования (Latent-Semantic Indexing - LSI). Он является эффективным методом поиска в текстовых документах и использует некоторые принципы вычисления семантического расстояния в текстах [3]. Традиционные лексически ориентированные методы пытаются сопоставлять слова в запросе со словами в документах, что приводит к тому, что извлекаются нерелевантные документы, а часть релевантных документов теряется. Это называется проблемой совпадения слов (word-matching problem), она возникает из-за того, что разные слова могут иметь одинаковые значения (синонимия), в то же время многие слова могут иметь более одного значения (полисемия). Метод LSI преодолевает эту проблему, поскольку использует статистически полученные концептуальные (понятийные) индексы, а не отдельные слова. LSI – это векторно-пространственный подход к смысловому поиску информации. Метод LSI, как и другие векторно-пространственные методы, базируется на предположении, что смысл текста может быть определен на основании терминов, содержащихся в этом тексте. Идея векторно-пространственного подхода состоит в том, что документы (естественно-языковые тексты) представляются векторами терминов

$$d = (t_1, t_2, \dots, t_n),$$

где t_i ($1 \leq i \leq n$) – неотрицательное число, определяющее количество вхождений термина t_i в документ d . Таким образом, коллекция документов вместе с содержащимися в них терминами образует пространство термин-документ (term-document space – TDS), определяемое матрицей термин-документ. Каждый элемент этой матрицы представляет собой неотрицательное число, определяющее количество вхождений определенного термина в определенный документ. Размерность этой матрицы зависит от количества документов в коллекции и количества различных терминов в них, и может составлять тысячи строк и столбцов. LSI-метод анализирует матрицу с тем, чтобы выявить скрытые (латентные – отсюда и название метода) ассоциативные связи между терминами и документами. LSI анализирует “похожесть” контекстов, в которых используются те или иные термины, и формирует уменьшенное подпространство, в котором

термины, употребляемые в похожих контекстах, и документы, соответствующие этим контекстам, расположены рядом друг с другом. Для этого LSI использует метод линейной алгебры разложения собственных значений (Singular Value Decomposition – SVD). Данный метод основан на статистических методах (в частности, на факторном анализе) и хорошо описан в литературе [4].

В сформированном подпространстве термины и документы сгруппированы по смыслу, так что его можно назвать семантическим пространством для данного корпуса текстов и входящих в них терминов. Каждому термину и документу в семантическом пространстве соответствует вектор, определяющий положение конкретного термина или документа в данном подпространстве. Если запрос также представить в виде вектора в этом пространстве, то можно отсортировать документы по степени релевантности к запросу, анализируя направления векторов.

Достоинством метода является то, что для выявления ассоциативных связей между терминами не нужно пользоваться никакими словарями, тезаурусами или базами знаний – эти связи определяются на основе автоматической обработки уже существующих текстов.

Метод LSI оценивает семантическое содержание документов и использует эту оценку для определения уровня релевантности документа к запросу пользователя. Поскольку поиск базируется на концепте документа, а не на отдельных терминах, содержащихся в нем, LSI может извлекать документы, релевантные к пользовательскому запросу, даже если запрос и документ не используют никаких общих терминов.

Существует множество дополнений к классическому методу LSI, позволяющих улучшить результаты поиска, увеличить скорость обработки огромных матриц термин-документ, а также применять метод LSI в других областях, связанных с информационными технологиями, например, для автоматического анализа динамически обновляемых баз данных с последующим принятием решений, для перевода текстов с одного языка на другой, и так далее.

Основная задача поиска – найти как можно большее число из всех документов, соответствующих запросу (т.е. релевантных документов), и как можно меньшее количество несоответствующих документов (выбранных ошибочно, т.е. нерелевантных).

Для оценки эффективности систем поиска (извлечения) информации широко используются два основных критерия эффективности поиска – точность (precision) и выборка (recall).

Точность извлечения документов определяется как отношение количества выбранных релевантных документов к общему количеству выбранных документов. Например, если система по запросу пользователя

находит 3 документа, из которых на самом деле только один релевантен, то точность системы равна 33%.

Оценка выборки более сложна, так как она требует отыскания релевантных документов, которые не были извлечены во время поиска по запросу пользователя. Выборка представляет собой отношение количества извлеченных (найденных) релевантных документов к общему количеству релевантных документов в коллекции. Предположим, что в предыдущем примере в коллекции на самом деле существует 4 релевантных документа, из которых система смогла найти только один. Тем самым выборка будет равна 25%.

Существует еще один параметр, используемый при оценке эффективности систем извлечения информации – выпадение. Выпадение определяется как отношение выбранных нерелевантных документов к общему количеству нерелевантных документов в коллекции. Предположим теперь, что в предыдущем примере всего 14 документов – 4 релевантных и 10 нерелевантных. Так как пользователь отыскал 2 нерелевантных документа из 10, то выпадение будет равно 20%.

В реальной жизни не существует систем, которые бы на практике обеспечивали идеальные показатели эффективности. Существующие системы либо не находят ВСЕ документы, либо находят нерелевантные документы, и пользователю приходится довольствоваться системой, способной в приемлемые сроки найти некоторое количество релевантных документов. Использование метода LSI позволяет улучшить качество поиска путем использования семантической модели информационных документов.

Список литературы: 1. Ланкастер Ф. Информационно-поисковые системы. М.: Мир, 1972. 308 с. 2. Якушин Б.В. Алгоритмическое индексирование в информационных системах. М.: Наука, 1978. 144 с. 3. Новиков А.И., Ярославцева Е.И. Семантические расстояния в языке и тексте М.: Наука, 1990. 320 с. 4. Van Rijsbergen C. J., Information Retrieval. London: Butterworths, 1979. 386 p.

Поступила в редколлегию 05.10.98

В.Н.БУРЦЕВ, Вл.Н.БУРЦЕВ, А.Л.ЕРОХИН

СПОСОБ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Многие быстропротекающие процессы, происходящие в сложных системах, характеризуются динамическим изменением состояний, в том числе и не предусматриваемых алгоритмами контроля, управления и принятия решений. Зачастую причинами изменений состояний являются случайные факторы. Моделирование стохастических процессов перехода системы в следующее состояние представляет большой интерес, так как позволяет разрабатывать новые подходы в прогнозировании нештатных ситуаций и принятии решений, а также новые принципы распознавания образов на фоне помех и искажений в трактах передачи информации. Математическое моделирование быстропротекающих процессов осуществляется процессами Маркова, описывающими переходы системы в виде матриц переходных вероятностей либо системой уравнений Колмогорова с главной матрицей. [1]. Особенный интерес при моделировании представляют цепи Маркова с переменным числом состояний [2], несомненно расширяющие возможности изучения сложных систем.

В настоящей статье описывается новый способ физического моделирования стохастических процессов, основанный на использовании волоконно-оптических преобразователей (ВОП) изображений [3,4]. ВОП изображений выполнен из набора элементарных светопроводящих элементов, которые с двух сторон объединены в блоки приемной и выходной поверхностей. При этом указанные поверхности представляют собой компактные множества поперечных сечений светопроводов:

$$\{W\} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\omega_{ij}); \quad (1)$$

$$\{W^*\} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\omega^*_{ij}), \quad (2)$$

где ω_{ij} — элемент сечения светопровода со стороны входной поверхности;
 ω^*_{ij} — элемент сечения со стороны выходной поверхности.

Благодаря матричным формам, изображения, поступающие на поверхность входа и формируемые на поверхностях выхода, являются растровыми, состоящими из множества фрагментов. Поэтому матрицу

$\{W\}$ определим как "входной растр" изображения, а матрицу $\{W^*\}$ – как "выходной растр". Способ моделирования стохастических процессов посредством преобразования первичных изображений включает в себя следующие этапы:

1 - преобразование первичной информации на входной поверхности в растровую структуру входа $\{W\}$;

2 - введение в передающий тракт светопроводов произвольных искажений, нарушающих регулярность положения координат элементов ω_{ij} относительно элементов ω_{ij} ;

3 - формирование на выходной поверхности растровой структуры выхода $\{W^*\}$ преобразованной информации.

Устройство, моделирующее стохастические процессы, представляет собой проекционное устройство [5]. Его принципиальная схема изображена на рис. 1.

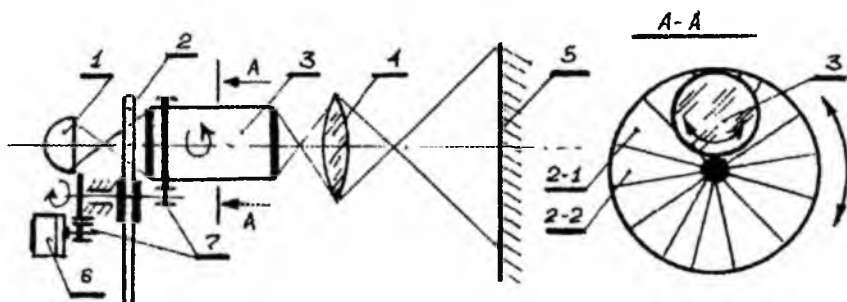


Рис. 1

Проектор содержит в своем составе источник света 1 с эллиптическим зеркалом, освещающим набор светофильтров 2-1, 2-2, ..., образующих вращающийся диск 2, расположенный в непосредственной близости от входной поверхности ВОП 3. Преобразованные изображения, сформированные на выходной поверхности ВОП 3, проецируются объективом 4 на экран 5. Перемещение диска 2 и ВОП 3 осуществляют двигатель 6 и кинематическая связь 7.

Устройство работает следующим образом. Разноокрашенные цветовые потоки, повторяющие формы светофильтров 2- i , формируют на входной поверхности ВОП 3 последовательность подвижных первичных изображений 8 (рис. 2).

При наличии комбинаторной нерегулярности нарушается "правильность" взаимных положений элементов ω_{ij} относительно ω_{ij} на выходной поверхности. При перемещении источника первичных изображений 8 на входной поверхности последовательно засвечиваются элементы ω_{2-1} , ω_{2-2} , ω_{2-3} , а на выходной – формируется иная последовательность ω_{2-1} , ω_{1-3} .

ω_{3-3} отличная от прямолинейной траектории. Увеличение числа элементов ω_{ij} в растрах $\{W\}$ приводит к усложнению преобразований.

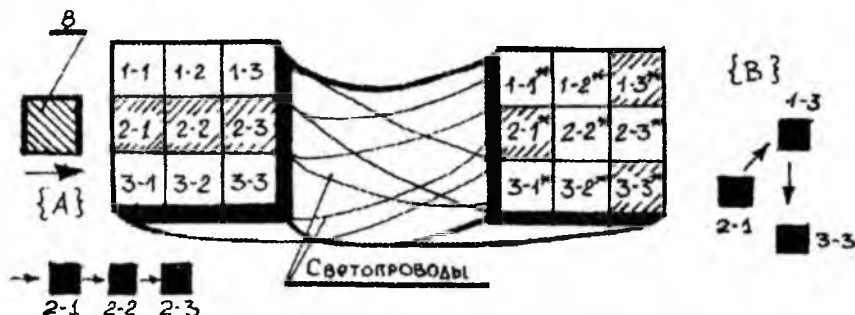


Рис.2

Так как элементарные светопроводы не связаны друг с другом, то благодаря деформациям сжатия, растяжения, изгиба и кручения набору светопроводов в поперечном сечении может быть придана любая форма, как это показано на рис.3.

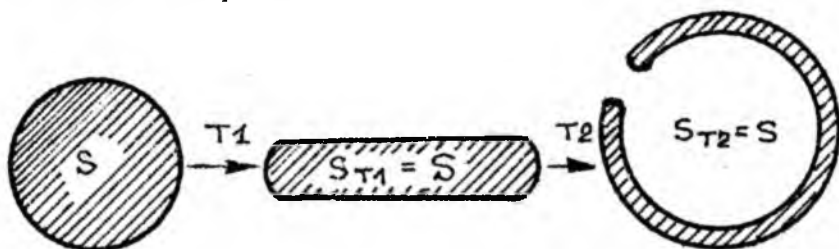


Рис.3

Докажем, что все преобразования с множествами $\{W^*\}$ и $\{W\}$ будут топологически подобными. Естественно, что несколько светопроводящих жгутов, собранных каждый из соответствующего набора элементарных светопроводов, могут быть объединены самым разнообразным образом. Например, на рис. 4 показан ВОП изображений, входная поверхность которого выполнена из четырех светопроводящих жгутов с сечениями A_1, A_2, A_3, A_4 , установленных последовательно. Затем из жгута A_1 сформирован центральный элемент B_1 , из жгута A_2 - кольцообразный элемент B_2 , охватывающий B_1 , и т.д. Внутри каждой из зон $B_1, \dots, B_4$ элементарные светопроводы уложены нерегулярно, образуя подмножества $\omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3 \cup \omega_4 \subset \{W^*\}$.

В указанном преобразователе перемещение первичного изображения 8 в последовательности $A_1 \rightarrow A_4$ на выходе преобразуется в движение коаксиальных "цветовых волн" от центра к периферии, а при реверсе

движения - становится сходящимся к центру. Можно утверждать, что комбинаторная нерегулярность укладки светопроводов в ВОП выбирается случайным образом и не имеет закономерности распределения. Топологическое преобразование фиксированной формы имеет устойчивые состояния.

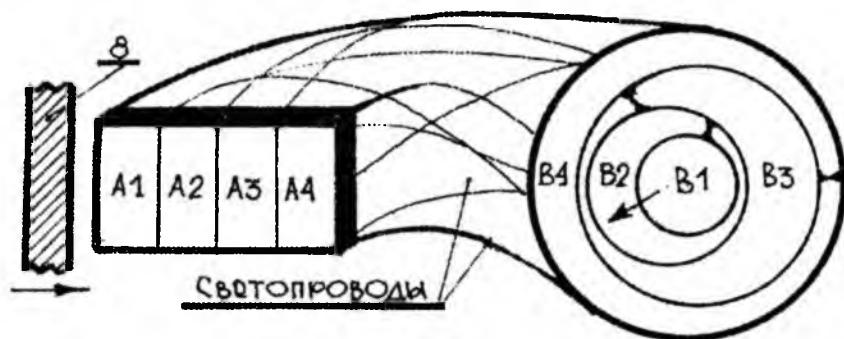


Рис.4

Физическое моделирование стохастических процессов обеспечивает визуальное представление о степени искажения первичной информации. Роль такой информации выполняют подвижные светофильтры (2-1, ...2-i), образующие упорядоченные информационные потоки с параметрами физического цвета, формы и размера. ВОП в модели является аналогом передающих каналов от пунктов сбора информации на центральный диспетчерский пункт. Искажения каналов при передаче информации влияют на управление системами, прогнозирование аварийных ситуаций и принятие решений. Технология изготовления ВОП позволяет заранее спланировать разнообразные искажения, в том числе имеющие закономерный характер распределения вероятностей.

Посредством аппарата теории множеств и цепей Маркова физическая модель может быть описана математически. Если на время остановить движение светофильтров, то на приемной поверхности ВОП сформируются несколько изображений. Они формируют упорядоченное множество Ω_1 , которое описывается как эталонное. Например, в виде семантического фрейма [5], являющегося по отношению к преобразованной семантике Ω_2 подсистемой [6]. Для этого случая преобразования информации в физической модели можно рассматривать математически как некоторые отношения между подсистемой Ω_2 и надсистемой Ω_1 , осуществляющие операции преобразования свойств. После преобразования изображение на выходной поверхности ВОП в статике представляет собой объединение неупорядоченных подмножеств разноокрашенных абстрактных фигур, степень "непохожести" которых по сравнению с эталонным изображением определяется количеством искажений в тракте передачи. В каждый момент времени t ,

$$\Omega_2 = \bigcup_{i=1}^N \Omega_{2i}^{*k_i}, \quad (3)$$

где Ω_{2i}^{*k} - подмножество, обладающее типами свойств, эквивалентных подмножеству

$$\Omega_1 = \bigcup_{i=1}^N \Omega_{1i}, \quad (4)$$

N - максимальное число подмножеств на входной поверхности;

K - количество подмножеств, заполняющих выходную поверхность ВОП.

При неподвижном положении изображения на входе прямоугольная матрица R_c определяет вероятности перехода состояния. При этом прямоугольная матрица $R_c \subset R_c^*$ выбирается из прямоугольной бесконечной матрицы, над которой могут быть произведены линейные преобразования.

Таким образом, физическая модель преобразования первичных изображений в динамике может рассматриваться как стохастический процесс со стационарным распределением цепей Маркова при неизменном положении ВОП в выбранной системе координат. С другой стороны, перемещение ВОП (линейные преобразования матриц) определяет модель как стохастический процесс, описываемый цепями Маркова с переменным числом состояний [2].

Наибольший интерес в моделировании вызывает обратная задача распознавания искаженной информации при наличии эталонного первичного изображения и матриц R_c .

Для формализации процесса преобразования изображений рассмотрим структуру растровых фрагментов первичных и преобразованных изображений с позиции теории множеств. При компактном объединении $\omega_{ij}(\omega_{ij})$ светопроводящих элементов образуются два типа размещения их поперечных сечений на входной или выходной поверхностях ВОП. Первый тип (рис.5) называется "гексогональным" [8]. Зоны плоскости между тремя соседними сечениями ω_{ij} не пропускают светового излучения и эти зоны обозначим как ϕ_i . Второй тип размещения сечений на плоскости назовем "послойным" или "ленточным" (рис. 6).

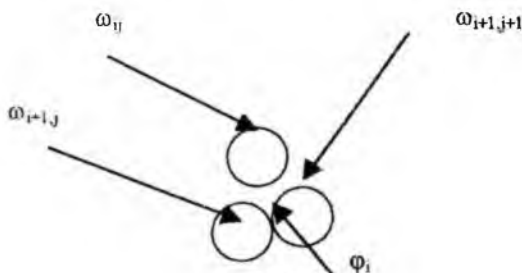
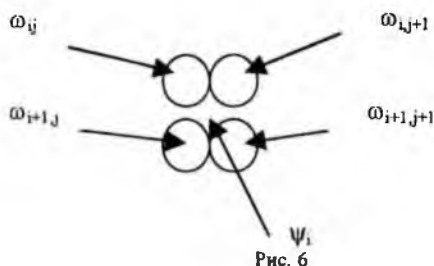


Рис. 5



Пустые зоны ψ_i образуются при объединении четырех соседних сечений ω_{ij} . В этих терминах входной и выходной растры представляются объединением базовых элементов $\{W\}$, пропускающих световое излучение, и пустых (нулевых) элементов $\{\Phi\}$. Объединение пустых подмножеств:

$$\bigcup_{i=1}^N \Phi_i = 0 \subset A, \quad (5)$$

$$\bigcup_{i=1}^N \Phi_i^* = 0 \subset A. \quad (6)$$

Объединения подмножеств базовых единичных элементов, принадлежат множеству A :

$$\bigcup_{i=1}^N W_i \subset A, \quad (7)$$

$$\bigcup_{i=1}^N W_i^* \subset A. \quad (8)$$

Пересечение подмножеств также принадлежит этому множеству:

$$\bigcap_{i=1}^M W_i \subset A, \quad (9)$$

$$\bigcap_{i=1}^M W_i^* \subset A. \quad (10)$$

Указанные свойства множеств характеризуют их как топологическое хаусдорфовое пространство (A, T) с дискретной топологией T [9].

В дальнейшем все перестановки отдельных элементов ω_j и $\omega_{\bar{j}}$ или подмножеств из этих элементов не изменяют топологии пространства (A, T) и могут считаться топологически подобными.

Задание топологии дает возможность в дальнейшем определить основные типы комбинаторных и топологических преобразований между множествами W и W^* . Теоретико-множественная точка зрения дает возможность при изучении моделей стохастических процессов определить все множества семантик, описывающих потоки исходной информации.

Список литературы: 1. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука. 1988. 548 с. 2. Н.И.Числин Эргодические свойства цепей Маркова с переменным числом состояний и модель устойчивого развития психики // Проблемы бионики. 1998. Вып.49.С 141 – 146. 3. Бурцев В.Н., Бурцев Вл. Н. Патент России № 2124747 Волоконно-оптический преобразователь изображений. Приоритет 28.05.97, опубл.10.01.99. 4. Бурцев В.Н., Бурцев Вл. Н. Принцип комбинаторно-топологических преобразований первичной информации невербального типа в цветодинамические изображения и феномен их влияния на психофизиологическое состояние человека. Украина. Государственное Агентство по авторским смежным правам. ПА № 1240. 25.06. 1998. 5. Бурцев В.Н., Бурцев Вл. Н. Патент России № 1320565 Устройство формирования цветowych изображений. Приоритет 24.07.1985, Зарегистрировано 11.04.1996. 6. Клещев А.Р. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. М.,1984. 256 с. 7. Соловьева Е.А., Маторин С.И. Методы моделирования и модели понятийных знаний // НГИ. Сер.2.1989.№ 4. С. 2-8. 8. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов. М.: "Машиностроение". 1977. 350 с. 9. М.Ф.Вороной. Задание топологии на много-аспектных классификационных структурах при моделировании концептуальных знаний // Проблемы бионики. 1998. Вып. 49. С 99-108.

Поступила в редколлегию 27.02.99

О.А. ЕМЕЦ, А.А. РОСКЛАДКА

МОДЕЛЬ ВЫБОРА ПОДМНОЖЕСТВА ЗАДАЧ ДЛЯ ЭВМ С МИНИМИЗАЦИЕЙ КОЛИЧЕСТВА ПЕРЕФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ КАК ЗАДАЧА КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

При современном развитии ЭВМ стало возможным решать большое количество сложных вычислительных задач. Однако наличие значительного числа периферийных устройств разных типов заметно снижает эффективность их решения. Построим модель, позволяющую минимизировать общее количество периферийных устройств, необходимых для решения некоторой совокупности задач на ЭВМ. Эта модель основана на использовании теории и методов евклидовой комбинаторной оптимизации [1-3] и в частности свойств евклидового комбинаторного множества полисочетаний.

Введем необходимые определения. Обозначим J_q - множество q первых натуральных чисел, т.е. $J_q = \{1, 2, \dots, q\}$. Под мультимножеством, следуя [4, 5], будем понимать совокупность элементов, среди которых могут быть и одинаковые. Всякое мультимножество M можно представить его основанием $S(M)$, т.е. множеством всех его различных элементов, и первичной спецификацией $[M]$ - множеством чисел повторений (кратностей) каждого элемента основания в мультимножестве. Например, мультимножество $N = \{x, x, x, y, y, z, z, t\}$ имеет основание $S(N) = \{x, y, z, t\}$ и кратности $k(x) = 3, k(y) = 2, k(z) = 2, k(t) = 1$. $[N] = \{3, 2, 2, 1\}$.

Назовем k - элементное подмультимножество B мультимножества A k -выборкой, т.е. B - k -выборка, если $B \subset A$, и число элементов в B равно k : $|B| = k$.

Пусть $G = \{g_1, g_2, \dots, g_\eta\}$ - мультимножество действительных чисел с основанием $S(G) = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, первичной спецификацией $[G] = \{\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n\}$, $\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_n = \eta$, $1 \leq \eta_i \leq k \quad \forall i \in J_n$.

Рассмотрим, как и в [3], упорядоченное разбиение J_η на s множеств $N_1, \dots, N_s$, т.е. разбиение, для которого $N_i \cap N_j = \emptyset$, $N_i \neq \emptyset$, $N_j = \emptyset$, $\forall i, j \in J_s$, а также упорядоченное разбиение натуральной константы k на s слагаемых $k_i, i \in J_s$, ($k = k_1, \dots, k_s$), которые удовлетворяют условию $1 \leq k_i \leq n_i$, где $n_i = |N_i|, \forall i \in J_s$. Очевидно, что $\eta = n_1 + n_2 + \dots + n_s$. Пусть

H - множество k -выборок из множества J_η вида $\pi = (\pi(1), \dots, \pi(k)) =$
 $= (\pi_{11}, \dots, \pi_{1k_1}, \dots, \pi_{s1}, \dots, \pi_{sk_s}) = (\pi^1, \dots, \pi^s)$, где $\pi^i = (\pi_{i1}, \dots, \pi_{ik_i})$ - произволь-
 ная k -выборка из множества $N_i \forall i \in J_s$, которая удовлетворяет условию

$$g_{\pi_{i1}} \leq g_{\pi_{i2}} \leq \dots \leq g_{\pi_{ik_i}}. \quad (1)$$

$C_{\eta n}^{ks}(G, H) = \{g_{\pi(1)}, \dots, g_{\pi(k)}\} / \forall \pi \in H$ назовем множеством полисочета-
 ний с повторениями или общим множеством полисочетаний. Элементы
 мультимножества $C_{\eta n}^{ks}(G, H)$ будем называть полисочетаниями с повторениями.

Таким образом, элементами общего множества полисочетаний
 $C_{\eta n}^{ks}(G, H)$ являются все k -выборки вида

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (2)$$

где $x_i \in G_i$, $i \in J_s$, G_i - заданные мультимножества. $\sum_i |G_i| = \eta$ - общее

количество элементов всех мультимножеств, среди которых n различных.
 Если $s = k$, тогда в (1) $k_i = 1 \forall i \in J_s$, и множество полисочетаний совпадает
 с множеством полиразмещений $A_{\eta n}^{ks}(G, H)$, т.е. выполняется равенство
 $C_{\eta n}^{kk}(G, H) = A_{\eta n}^{kk}(G, H)$. Далее это поликомбинаторное множество будем
 обозначать $E(G, H)$.

Рассмотрим постановку исходной задачи. Пусть имеется m задач,
 которые необходимо решить на ЭВМ. Для решения задачи с номером
 i необходим набор, состоящий из k типов периферийных устройств:
 $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik})$, где $i \in J_m$; v_{ij} - число периферийных устройств типа j ,
 необходимых для решения задачи i . Нужно выбрать подмножество,
 содержащее ровно t задач с наименьшим общим количеством необходи-
 мых для их решения периферийных устройств.

Построим математическую модель задачи. Для этого рассмотрим
 мультимножество $G_1 = \{x_{11}, x_{21}, \dots, x_{m1}\}$, элементами которого являются
 первые координаты векторов v_i , $i \in J_m$. Аналогично, $G_2 = \{x_{12}, x_{22},$
 $\dots, x_{m2}\}, \dots, G_n = \{x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{mn}\}$.

Для каждого элемента $x \in E(G, H)$ вида (2), который определяет
 некоторый набор из k типов периферийных устройств, необходимо
 установить, какие из задач v_i , $i \in J_m$ могут быть решены с использованием
 данного набора устройств.

Введем переменную y_{ij} , которая характеризует решаемость задачи

v_i с помощью набора (2), по следующему правилу: $y_{ij} = \frac{1}{2} \frac{v_{ij} - x_i}{|v_{ij} - x_i|} + 1$, если $v_{ij} \neq x_i$; $y_{ij} = 1$, если $v_{ij} = x_i$. Легко видеть, что $y_{ij} = 1$, если $v_{ij} \geq x_i$; $y_{ij} = 0$, если $v_{ij} < x_i$. Очевидно, что задача v_i может быть решена при помощи набора (2) только в том случае, если все координаты y_{ij} вектора y_i равны единице.

Таким образом, имеем следующую математическую модель задачи: найти

$$\min_{x \in R^k} \sum_{i=1}^n x_i$$

при условиях

$$x \in E(G, H), \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m \min_{1 \leq i \leq n} (y_{ij}) \geq t. \quad (4)$$

Если ввести для каждого периферийного устройства типа j его стоимость c_j , $j \in J_k$ и поставить задачу минимизации общей стоимости, то исходная задача будет ее частным случаем. Действительно, если все $c_j = 1$, то общую стоимость можно рассматривать как общее количество периферийных устройств. Математическая модель этой задачи запишется так: найти

$$\min_{x \in R^k} \sum_{i=1}^n c_j x_i$$

при условиях (3) и (4).

Рассмотрим пример построения модели задачи. Пусть имеется пять задач и заданы наборы периферийных устройств, необходимых для решения каждой из них:

$$v_1 = (0, 2, 1, 4), \quad (5)$$

$$v_2 = (1, 0, 3, 4), \quad (6)$$

$$v_3 = (2, 2, 1, 3), \quad (7)$$

$$v_4 = (0, 1, 2, 3), \quad (8)$$

$$v_5 = (5, 4, 3, 0). \quad (9)$$

Необходимо выбрать подмножество из трех задач, содержащее наименьшее общее количество периферийных устройств. В данной задаче мультимножества $G_i, i \in J_4$ имеют вид:

$$G_1 = \{0, 1, 2, 0, 5\}, \quad G_2 = \{2, 0, 2, 1, 4\}, \quad G_3 = \{1, 3, 1, 2, 3\}, \quad G_4 = \{4, 4, 3, 3, 0\}.$$

Математическая модель задачи: найти $\min\{x_1 + x_2 + x_3 + x_4$ при условиях (3) и $\sum_{j=1}^5 \min_{1 \leq i \leq 4} (y_{ij}) \geq 3$.

Для примера рассмотрим два элемента множества $E(G, H)$: $x^{(1)} = (2, 2, 2, 3)$ и $x^{(2)} = (1, 2, 3, 4)$.

Рассмотрим элемент $x^{(1)}$. Для набора (5), сравнивая соответствующие координаты v_{1j} и $x_j^{(1)}$, $j \in J_n$, имеем $y_1^{(1)} = (1, 1, 1, 0)$. Аналогично, для (6) имеем $y_2^{(1)} = (1, 1, 0, 0)$, для (7) – $y_3^{(1)} = (1, 1, 1, 1)$, для (8) – $y_4^{(1)} = (1, 1, 1, 1)$, для (9) – $y_5^{(1)} = (0, 0, 0, 1)$. Таким образом, с помощью набора периферийных устройств $x^{(1)}$ могут быть решены задачи v_3 и v_4 . Это противоречит условию (4) и исключает набор $x^{(1)}$ из множества допустимых решений задачи.

Рассматривая элемент $x^{(2)}$, для набора (5) имеем $y_1^{(2)} = (1, 1, 1, 1)$. Аналогично, для (6) имеем $y_2^{(2)} = (1, 1, 1, 1)$, для (7) – $y_3^{(2)} = (0, 1, 1, 1)$, для (8) – $y_4^{(2)} = (1, 1, 1, 1)$, для (9) – $y_5^{(2)} = (0, 0, 1, 1)$. Следовательно, с помощью набора $x^{(2)}$ решаются задачи v_1, v_2, v_4 . Условия (3) и (4) выполнены, значит, $x^{(2)}$ – допустимое решение исходной задачи. При этом значение целевой функции равно $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1 + 2 + 3 + 4 = 10$.

Список литературы: 1. Стоян Ю.Г., Ємець О.О. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації. К.: ІСДО, 1993. 220 с. 2. Ємець О.О. Теорія і методи комбінаторної оптимізації на евклідових множинах в геометричному проектуванні: Автореф. дис. ...докт. фіз.-мат. наук. Київ, 1997. 246 с. 3. Yemets O. Euclidean combinatorial sets in combinatorial optimization/ Полт. держ. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Полтава, 1998. 11 с. Деп. в ДНТБ України 10.09.98. № 397 - Ук 98. 4. Айзнер М. Комбинаторная теория: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 187 с. 5. Баранов В.И., Стечкин Б.С. Экстремальные комбинаторные задачи и их приложения. М.: Наука, 1989. 120 с.

Поступила в редколлегию 03.02.99

Ю.Н. ТЕСЛЯ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАМЯТИ В РЕФЛЕКТОРНЫХ СИСТЕМАХ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОГО ОБЩЕНИЯ

Эффективность построения автоматизированных информационных систем во многом зависит от языковых средств взаимодействия с компьютером [1, 2]. Проблемы создания эффективных средств обработки естественно-языковой информации в современных автоматизированных информационных системах обусловлены требованиями высокой производительности, возможности анализа текстов при наличии морфологических и синтаксических ошибок, с одной стороны, ограниченной производительностью компьютеров, отсутствием эффективного научного подхода и соответствующей программной поддержки, удовлетворяющей этим требованиям, - с другой [3].

Известные отечественные и зарубежные системы обработки естественно-языковой информации имеют или экспериментальный характер, или узкую специализацию, кроме того, затраты на их создание значительны [2, 4]. Однако без таких средств значительно снижается производительность автоматизированных систем при наполнении информационной базы, повышаются затраты на выполнение рутинных действий, таких как кодировка информации, поиск в информационной базе и др.

Таким образом, возникает противоречие между необходимостью использования средств естественно-языкового общения в системах организационного управления и их сложностью и значительной стоимостью. В соответствии с этим требования и ограничения к системам обработки естественно-языковых текстов определяются мобильностью, надежностью, высокой производительностью, простотой изменения информационной базы, децентрализацией процесса обработки данных, стоимостью программных средств.

Разрабатываемые в среде данных требований и ограничений средства обработки естественно-языковых текстов должны быть низкозатратными, носить специализированный характер, обеспечивать обработку поступающей информации с формализацией основных элементов объектов информационной среды и осуществлять диалог с пользователем на языке, близком к естественному. Использование принципов рефлексорного поведения в алгоритмах естественно-языкового общения не только обеспечивает достижение поставленных целей, но и позволяет разработать достаточно простую и эффективную методологию проектирования систем естественно-языкового общения, доступную разработчикам систем

организационного управления на всех уровнях – от простых АРМов до систем управления сложными народнохозяйственными проектами [5, 6]. Это обусловлено следующим:

- отсутствием необходимости выполнять морфологический и семантический анализ текста, что снижает затраты на разработку систем естественно-языкового общения (систем ЕЯО);
- фрагментная структура тезауруса системы повышает ее устойчивость к ошибкам, позволяет использовать для обработки различных по природе текстов;
- простотой реализации;
- высокой надежностью распознавания семантической составляющей текста;
- адаптивностью к различным входным текстам.

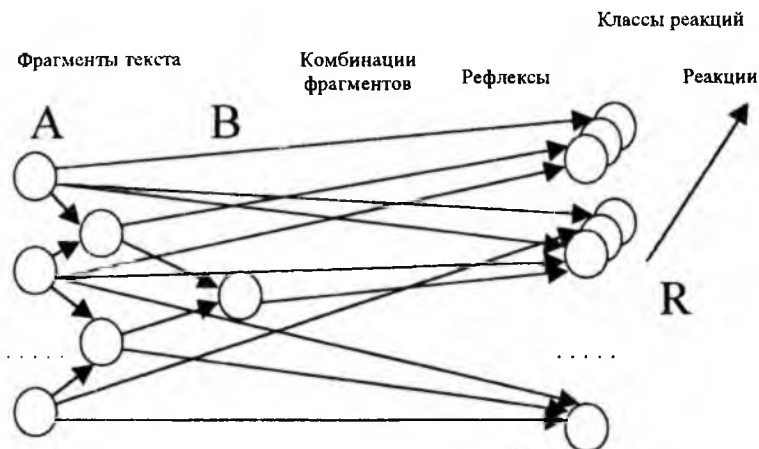
Главная идея, лежащая в основе создания рефлекторных систем ЕЯО, заключается в применении методов теории информационного взаимодействия к задачам распознавания образов. Это обеспечивает идентификацию алгоритма и основных параметров запроса по комбинациям фрагментов поступающих естественно-языковых текстов [5-7]. Математическая модель формирования величины воздействия в текстах на естественном языке получила практическое подтверждение и реализована в компиляторе естественно-языковых текстов (KET) [6].

KET реализует рефлекторную модель поведения в неоднозначно трактуемой среде функционирования и является специализированным комплексом программ, обеспечивающим интерфейс между пользователем, информационной базой, средствами наполнения информационной базы и информационно-поисковой системой автоматизированных информационных систем. Компилятор обеспечивает формирование результирующего, формального представления семантической составляющей входного текста по его изображению.

Морфологическая структура компилятора формируется совокупностью взаимодействующих информационных объектов. В качестве информационных объектов тезауруса KET выступают (рисунок): фрагменты текстов (А); комбинации фрагментов текстов (В); реакции компилятора (R).

С помощью математической модели информационного взаимодействия [7] разработан алгоритм вычисления оценки совместной условной вероятности реакций компилятора по частным условным вероятностям реакций для ограниченных фрагментов (и их комбинаций) текстов.

Конкретные формы реакций R (выражаемые этими условными вероятностями) определяются в процессе обучения – наполнения словарной системы (А,В) и базы определяющих связей (рефлексов) текста U.



Но ограниченные ресурсы современных компьютеров создают множество проблем в реализации процедур рефлекторного поведения, требующих значительного объема памяти и ограниченного времени на выполнение.

Методика выбора информационных объектов, определяющих выходную реакцию компилятора, построенная на случайном отборе комбинаций из входного текста, приводит к "засорению" информационной базы КЕТ. Для устранения этого недостатка предлагается разработанный автором метод оценки "полезности" информационных объектов тезауруса на основе величины воздействия этих объектов на множество выходных реакций компилятора естественно-языковых текстов. В рамках КЕТ всегда происходит выбор одной из подмножества возможных альтернативных (попарно несовместимых) реакций $\{R\}$. Поэтому оценка полезности каждого информационного объекта не должна зависеть от количества возможных реакций и отображать лишь определенность (заданность, приоритетность, преимущественность) выбора одной из реакций. Для того чтобы был понятен смысл такой оценки «полезности», приведем следующий пример. При подбрасывании идеальной монетки ($p_{орел} = p_{решка} = 0,5$) и идеального игрового кубика ($p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = p_6 = 1/6$) ситуация "выпадения" одного из альтернативных вариантов и монетки, и кубика полностью неопределенна.

В теории информационного взаимодействия количество информации о состоянии и монетки, и кубика после подбрасывания равно 0. Если мерой неопределенности считать энтропию, то мы получим разные значения для кубика и монетки:

$$H = -\sum p_i \log_2(p_i);$$

для монетки $H_{\text{монетки}} = 0,5(-1) - 0,5(-1) = 1;$

для кубика $H_{\text{кубика}} = 6(1/6 \log_2(1/6)) \approx 2,6.$

Наше понимание одинаковой степени определенности состояния кубика и монетки выражается в разной энтропии - в разной степени неопределенности. Разница состоит в том, что энтропия является мерой неопределенности выбора одного из состояний системы, а количество информации (в теории информационного взаимодействия) отражает состояние кубика и монетки как систем с равновероятными исходами (ни один исход не определен более значительно, чем другие), значит, выбор абсолютно не определен.

Предпочтительность кубика (2,6 против 1 бита) не характеризует определенность ситуации, определенность выигрыша. Если монетка не идеальна (например: $p_{\text{орел}}=0,501$; $p_{\text{решка}}=0,499$), то она более «полезна» в играх, поскольку выбор (в некоторой степени) определен.

Подойдем к вопросу формирования меры полезности информационных объектов тезауруса именно из этих позиций, используя положения и выводы теории информационного взаимодействия. Рассмотрим вариант, когда информационный объект тезауруса определяет n попарно несовместимых реакций системы, при этом вероятности выбора размещены в порядке убывания и равны:

p_i - вероятность активизации реакции r_j ($j=1, \dots, n$);

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \text{ — из условий попарно несовместимости реакций;}$$

$$p_1 \geq p_2 \geq \dots \geq p_n.$$

С учетом попарной несовместимости реакций можно записать:

$$\left. \begin{array}{ll} r_1 & \text{есть альтернатива } r_2; \\ \dots & \dots; \\ r_1 & \text{есть альтернатива } r_n; \\ r_2 & \text{есть альтернатива } r_3; \\ \dots & \dots; \\ r_{n-1} & \text{есть альтернатива } r_n. \end{array} \right\} \quad (1)$$

Вероятность «выбора» в каждой альтернативной паре равна:

$$r_i \text{ есть альтернатива } r_j, \text{ тогда } p^w(r_i, -r_j) = \frac{p_i}{p_i + p_j}; \quad (2)$$

$$r_j \text{ есть альтернатива } r_i, \text{ тогда } p^w(-r_i, r_j) = \frac{p_j}{p_i + p_j},$$

где $p^w(r_i, -r_j)$ – вероятность выбора реакции r_i из альтернативной пары r_i и r_j ;
 $p^w(-r_i, r_j)$ – вероятность выбора реакции r_j из альтернативной пары r_i и r_j .

Вероятность выбора одного из приведенных альтернативных вариантов представим через реализацию двух событий:

- а) выбор альтернативного варианта;
- б) выбор реакции из пары альтернативных.

Тогда

$$p_j = \sum_{i \neq j} P_{ij}^w \frac{p_i}{p_i + p_j}. \quad (3)$$

где P_{ij}^w – вероятность выбора альтернативного варианта r_i/r_j из перечня (1).

Решением (3) относительно P_{ij}^w есть значение:

$$P_{ij}^w = \frac{p_i + p_j}{n-1}, \quad (4)$$

Тогда «информативность» фрагментов и их комбинаций эквивалентна величине, определяемой выбором одного из альтернативных вариантов (с учетом вероятности выбора). Определенность выбора реакции пропорциональна средней (ожидаемой в выборе) вероятности выбора в альтернативных вариантах:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j>i} \frac{p_i + p_j}{n-1} \cdot \frac{p_i}{p_i + p_j},$$

или

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (n-i) p_i}{n-1}. \quad (5)$$

Величина S является мерой определенности выбора из альтернативной совокупности реакций или просто мерой воздействия данного фрагмента (комбинации фрагментов) на “выбор” компилятора. Процесс “очистки” памяти компилятора от слабоинформативных объектов тезау-

руса будем называть нормализацией тезауруса рефлекторной системы ЕЯО. В процессе нормализации осуществляется выбор и удаление из памяти системы:

- а) наименее информативных связей (U) между тезаурусом и множеством реакций компилятора;
- б) объектов тезауруса с наименьшим воздействием на реакции компилятора (5).

Граница удаления устанавливается одним из следующих способов:

- как процент свободной памяти, который должен быть у системы;
- установлением минимально допустимого значения S (5).

Применение данного блока в процессе эксплуатации компилятора естественно-языковых текстов позволило расширить количество входных и выходных информационных объектов при более эффективной организации процессов вычисления реакций системы.

Список литературы. 1. Бондаренко М.Ф., Калиновский А.С., Рябова Н.В. Разработка интеллектуальных информационных систем // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сб научн. трудов ХГПУ. Вып. 6. В 4-х частях. Ч.1. Харьков: ХГПУ, 1998. С. 191-193. 2. Искусственный интеллект. Кн.1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э.В. Попова. М.: Радио и связь, 1990. 463 с. 3. Буцуев С.Д., Михайлов В.С., Ляко С.Д. Автоматизированные системы управления строительством. К.: Будівельник, 1989. 255 с. 4. Бондаренко М.Ф. Основы теории синтеза надшифковидных структур мовних систем штучного інтелекту. К., 1997. 264 с. 5. Тесля Ю.М. Застосування теорії інформаційної взаємодії до побудови систем класифікації образів // Праці сьомої міжнародної конференції "Укробраз 98", Київ, 26-30 жовтня 1998р. С.122-123. 6. Тесля Ю.М. Рефлекторная система обработки естественно-языковых текстов в АСУ строительством сложных энергетических объектов // Радиоэлектроника и информатика, 1998, №4 С. 52-55. 7. Тесля Ю.Н. Основы теории информационного взаимодействия. Киев, 1995. 49с. (Препр. / АН Украины. Ин-т кибернетики им.В.М Глушкова; 95-4).

Поступила в редколлегию 03.06.99

О.В.ДЬЯЧКОВА, Н.В.ШАРОНОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ В ОБУЧАЮЩИХ МУЛЬТИМЕДИА-СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В настоящее время насущная потребность в гуманизации образования, ориентация на развитие творческого потенциала личности обучаемого предъявляет особые требования к организации творческого процесса обучения. Смещение акцентов от экспертной парадигмы развития обучающих систем в сторону стратегий концептуального обучения, реализация концепции "четырёх И" (информатизация, индивидуализация, интеграция и интеллектуализация обучения) [1] привели к необходимости развития технологий информационно-поддержки индивидуальных творческих действий.

На фоне этих тенденций для реализации практически всех компонентов компьютерных образовательных информационных технологий активно используются гипермедийные инструментальные средства. Соединение достоинств гипертекстовой технологии и многослойной среды мультимедиа привело к созданию особого класса информационных систем, наиболее адекватных реальности. Нелинейная организация информации (присущая гипертексту), на которой заданы смысловые ассоциации, и динамические связи между выделенными в ней элементами позволяют строить систему альтернативных моделей индивидуального обучения (в том числе и для реализации различных стратегий или методик обучения для одной предметной области). Средства мультимедиа дают возможность воспроизводить информацию различной модальности: слуховую, визуальную, кинетическую и т.д., способствуя аналитической деятельности пользователя, лучшему восприятию и длительному сохранению остаточных знаний, а также обеспечивая дружественный интерфейс.

В целом гипермедиа-структуры изменяют принцип извлечения знаний, являясь средством управления самим процессом познания. При этом в значительной степени возрастает роль самого обучаемого в этом процессе. Гипермедиа сочетает присущую базам данных способность адекватной реакции на запрос с многообразием форм представления информации. Объединенное сетью взаимных ссылок, гиперпространство может содержать видео- и звукозаписи, статистические диаграммы, таблицы, географические карты, фрагменты - результаты выполнения сложных процедур. Независимость от жесткой схемы группировки (структуры) данных выгодно отличает гипермедиа от классических типов представления информации, однако приводит к повышенной сложности ее разработки.

Кроме того, в отличие от классической информации, поддерживающей стабильные типы данных, постоянно возникают новые типы данных, новые алгоритмы их обработки – налицо тенденция расширения традиционных типов данных в сторону их разнообразия и поддержки многоуровневой интерактивной среды. Наличие неструктурированных данных порождает и массу проблем: в отличие от структурированных типов, их нельзя индексировать, невозможно организовать поиск по их содержанию или автоматическое сравнение этой информации.

Еще один вопрос, требующий решения: как избежать дублирования гипермедиа-данных? Ведь они могут иметь общую информацию, близкие связи или представлять однотипную информацию в различной форме. В этом же круге проблем находятся и задачи классификации гипермедиа-данных и поиска релевантной и соотносительной (дополнительной к запрашиваемой или выдающей данные в ином виде) информации. Одним из вариантов решения этих задач может быть представление гипермедиа-данных таким образом, чтобы с его помощью можно было организовать поиск (с надлежащими скоростью, точностью и полнотой) и выдачу данных пользователю.

Однако, как отмечается в [2], неструктурированные данные содержат информацию о своей структуре внутри себя; именно благодаря этому пользователь однозначно распознает и классифицирует изображение по нему самому. Такое хранение информации даст возможность разработать способы их классификации и методы обработки и хранения. Таким образом, семантику данных можно хранить в виде знаний, а для адресации к данным, основанную на их содержимом, использовать базу знаний (БЗ) предметной области, содержащую понятия и отношения между ними. На основе этой БЗ возможно произвести формальное описание содержания документов, используя ее понятия в качестве ключевых слов при индексировании данных.

Архитектура такой системы должна включать в себя подсистему пользовательского интерфейса, подсистему базы мультимедиа-данных (БМД) и подсистему исполнения.

При таком представлении данных возникают естественные вопросы: каким образом осуществить разбиение и структуризацию учебного материала с учетом психолого-педагогических, методических и эргономических требований; как разбить на классы эквивалентности полученную информацию в целях явного выражения семантических связей между данными создаваемой гипермедиа-структуры и др.

Ниже предлагается алгоритм разбиения на классы эквивалентности всех документов, отобранных в результате запроса к БМД.

Предположим, что в результате некоторого запроса пользователя к обучающей системе из БМД были отобраны n документов $\tau_i, i = \overline{1, n}$. Все мультимедиа-данные были получены в результате некоторой процедуры обработки запроса, в соответствии с которой в индексных записях документов может содержаться одно или несколько понятий $\rho_j, j = \overline{1, m}$ БЗ проблемной области (либо потомков требуемых понятий), выполняющих роль аналога ключевых слов при индексировании документов. Обозначим множество документов БМД через $\mathcal{Z} = \{\tau_i\}, 1 \leq i \leq n$; а множество исходных понятий проблемной области и отношений между ними – через $\mathcal{R} = \{\rho_j\}, 1 \leq j \leq m$. В отличие от традиционных систем, рассматриваемые понятия ρ_j – неоднородные объекты, являющиеся элементами модели проблемной области: понятия, свойства, значения этих свойств, составные понятия и т.п. Отношения между ними – произвольные связи. При этом для представления мультимедиа-данных с разных точек зрения (хранения и обработки, навигации и т.п.), а также для реализации различных стратегий или методик обучения может использоваться множественное индексирование. Следовательно, неоднородность понятий БЗ определяется также и различием механизмов свертывания информации БМД (представления основного содержания документов набором ключевых слов). В целом же множество понятий $\mathcal{R}$ описывает в сжатом виде документы множества $\mathcal{Z}$.

Исходя из этого, можно предположить, что для каждой пары τ и ρ существует точно определенное значение соответствия (или несоответствия) данного понятия проблемной области и рассматриваемого документа. Это соответствие может быть выражено неким предикатом, который назовем предикатом релевантности $\mathcal{R}$. Для каждой пары документа $\tau \in \mathcal{Z}$ и понятия $\rho \in \mathcal{R}$ значение предиката равно 1 в случае соответствия данного понятия мультимедийному документу или 0 – в противном случае.

При этом важно, чтобы при каждой попытке установить соответствие τ и ρ предикат релевантности $\mathcal{R}$ определялся однозначно. Выполнение этого требования (или так называемого постулата существования предиката $\mathcal{R}$ [3, с.46]) означает, таким образом, установление для каждой пары (τ, ρ) при повторном рассмотрении того же значения предиката $\mathcal{R}(\tau, \rho)$. В случае, когда компарацию осуществляет человек, постулат существования идеально точно выполняться не будет никогда. Точное выполнение постулата существования возможно при компьютерной обработке информации. Следует помнить, что все сведения о предикате $\mathcal{R}$ исследователь получает исключительно из изучения физически наблюдаемого поведения испытуемого. Привлечение интроспективных данных, кроме как с эвристической целью, методом компараторной идентификации не допускается. Таким образом, все сведения об описываемых интеллектуальных функ-

циях человека, получаемые при этом подходе, всегда будут основываться лишь на физическом, т.е. чисто объективном, исследовании поведения испытуемого [3, с.47, 48]. Если $P(\tau, \rho) = 1$, назовем документ τ истинным относительно понятия ρ .

Для построения фрагментов результирующей гиперструктуры необходима классификация отобранной информации, разбиение на отдельные логические элементарные группы, логические единицы. Назовем каждый такой отдельный элемент представления информации в гиперструктуре архитектурным конструктивом и введем понятие отношения принадлежности $\odot$ отобранных мультимедиа-документов τ_α, τ_β одному конструктиву следующим образом:

$$\tau_\alpha \odot \tau_\beta \Leftrightarrow (\forall \rho \in \mathfrak{N})(P(\tau_\alpha, \rho) = P(\tau_\beta, \rho)).$$

Отношение $\odot$ определяет минимально расчлененное представление цельности.

Действительно, если $\tau_\alpha \odot \tau_\beta$, то $P(\tau_\alpha, \rho) = P(\tau_\beta, \rho)$ для любого понятия или отношения, описывающего заданную предметную область. Это означает, что данные понятия содержатся в индексных записях каждого из этих документов, т.е. информация, представленная в документах τ_α и τ_β , семантически близка. Если же отношение $\tau_\alpha \odot \tau_\beta$ не имеет места для данных документов τ_α и τ_β , это означает, что существует такое понятие $\rho^* \in \mathfrak{N}$, которое соответствует только одному из указанных документов. Следовательно, не все свойства этих документов являются адекватными друг другу относительно заданного множества понятий $\mathfrak{N}$.

Отношение $\odot$ обладает следующими свойствами: рефлексивности $\tau_\alpha \odot \tau_\alpha$; симметричности $(\forall \tau_\alpha, \tau_\beta \in \mathfrak{Z})(\tau_\alpha \odot \tau_\beta) \Rightarrow \tau_\beta \odot \tau_\alpha$; транзитивности $(\forall \tau_\alpha, \tau_\beta, \tau_\gamma \in \mathfrak{Z})(\tau_\alpha \odot \tau_\beta)(\tau_\beta \odot \tau_\gamma) \Rightarrow \tau_\alpha \odot \tau_\gamma$. Следовательно, отношение $\odot$ является эквивалентностью.

В свою очередь, для понятий проблемной области, лежащих в основе построения гиперструктуры, также можно ввести отношение $\otimes$ принадлежности понятий ρ_ϕ, ρ_ψ понятийной основе конструктива $\mathfrak{N}$:

$$\rho_\phi \otimes \rho_\psi \Leftrightarrow (\forall \tau \in \mathfrak{Z})(P(\tau, \rho_\phi) = P(\tau, \rho_\psi)).$$

Отношение $\otimes$ определяет закономерности структурирования цельности, а именно: если для любого мультимедиа-документа выполняется $P(\tau, \rho_\phi) = P(\tau, \rho_\psi)$, следовательно, оба понятия проблемной области ρ_ϕ и ρ_ψ являются функционально эквивалентными для механизма компрессии отобранной информации. В противном случае, если отношение $\otimes$ не выполняется для некоторых ρ_ϕ и ρ_ψ , то найдется такой документ $\tau^* \in \mathfrak{Z}$, что $P(\tau^*, \rho_\phi) \neq P(\tau^*, \rho_\psi)$, т.е. какое-либо из понятий не соответствует этому документу.

Аналогично можно показать, что отношение $\mathbb{R}$ обладает свойствами рефлексивности, симметричности и транзитивности, т.е. также является отношением эквивалентности.

Отношения $\mathbb{C}$ и $\mathbb{R}$ позволяют ввести соответствующие им предикаты $E_{\mathbb{C}}(\tau_{\alpha}, \tau_{\beta})$ и $E_{\mathbb{R}}(\rho_{\varphi}, \rho_{\psi})$, которые однозначно определяются предикатом релевантности P . Предикат

$$E_{\mathbb{C}}(\tau_{\alpha}, \tau_{\beta}) = (\forall \rho \in \mathcal{R})(P(\tau_{\alpha}, \rho) \sim P(\tau_{\beta}, \rho)) \quad (1)$$

задан на множестве $\mathcal{T} \times \mathcal{T}$; предикат

$$E_{\mathbb{R}}(\rho_{\varphi}, \rho_{\psi}) = (\forall \tau \in \mathcal{T})(P(\tau, \rho_{\varphi}) \sim P(\tau, \rho_{\psi})) \quad (2)$$

задан на множестве $\mathcal{R} \times \mathcal{R}$. Предикат $E_{\mathbb{C}}$ можно использовать для выявления и моделирования семантической близости документов τ_{α} и τ_{β} из множества $\mathcal{T}$: если $E_{\mathbb{C}}(\tau_{\alpha}, \tau_{\beta}) = 1$, то, согласно (1), $P(\tau_{\alpha}, \rho) = P(\tau_{\beta}, \rho)$ для любого понятия ρ из множества $\mathcal{R}$. Следовательно, все свойства документов τ_{α} и τ_{β} , выражаемые понятиями из множества $\mathcal{R}$, совпадают. Если же $E_{\mathbb{C}}(\tau_{\alpha}, \tau_{\beta}) = 0$, то найдется такое понятие $\rho \in \mathcal{R}$, для которого $P(\tau_{\alpha}, \rho) \neq P(\tau_{\beta}, \rho)$, что говорит о семантическом различии τ_{α} и τ_{β} . Подобным образом предикат $E_{\mathbb{R}}(\rho_{\varphi}, \rho_{\psi})$ может быть использован для определения функциональной эквивалентности понятий ρ_{φ} и ρ_{ψ} из множества $\mathcal{R}$: если $E_{\mathbb{R}}(\rho_{\varphi}, \rho_{\psi}) = 1$, то, согласно (2), $P(\tau, \rho_{\varphi}) = P(\tau, \rho_{\psi})$ для любого документа τ из множества $\mathcal{T}$, т.е. либо оба понятия соответствуют документу $\tau \in \mathcal{T}$, либо одновременно оба не соответствуют.

Оба введенных предиката $E_{\mathbb{C}}$ и $E_{\mathbb{R}}$ являются эквивалентностями, следовательно, факторизуют рассматриваемые множества $\mathcal{T}$ и $\mathcal{R}$ ([3, с.55-56]). Предикат $E_{\mathbb{C}}$ определяет разбиение множества $\mathcal{T}$ на слои T семантически близких документов; документы, принадлежащие различным слоям T , таковыми не являются. При этом классу V^t всех документов $\tau \in \mathcal{T}$, семантически близких документу $t \in \mathcal{T}$, соответствует предикат $V^t(\tau) = E_{\mathbb{C}}(\tau, t)$. Предикат $E_{\mathbb{R}}$ определяет разбиение множества $\mathcal{R}$ на слои R функционально эквивалентных понятий; при этом понятия из различных слоев R функционально эквивалентными не являются. А классу V^r всех понятий $\rho \in \mathcal{R}$, функционально эквивалентных понятию $r \in \mathcal{R}$, соответствует предикат $V^r(\rho) = E_{\mathbb{R}}(\rho, r)$. Учитывая (1) и (2), получаем:

$$V^t(\tau) = (\forall \rho \in \mathcal{R})(P(\tau, \rho) \sim P(t, \rho)) , \quad (3)$$

$$V^r(\rho) = (\forall \tau \in \mathcal{T})(P(\tau, \rho) \sim P(\tau, r)) . \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) выражают закономерности структурирования информации в процессе построения гипермедийных структур через предикат P , объективно определяемый классификатором. Подчеркнем, что данные в выражениях (3) и (4) вводятся чисто физическим путем, на основе объективно наблюдаемых фактов, поскольку при их определении

используется только предикат Р, характеризующий поведение человека-классификатора [3, с. 55]. Таким образом, с помощью метода компараторной идентификации можно адекватно выявлять и моделировать закономерности структурирования цельности на такой сложной области описания, какой является создание гипермедиальных обучающих систем.

Список литературы: 1. Дацун Н.Н. Гипертекстовая технология и обучение // Управляющие системы и машины. 1994. № 3. С. 44-48. 2. Философия представления данных // Компьютеры + программы. 1996. № 9(33). С. 12-13. 3. Шабанов-Кушнарченко Ю.П., Шаронова Н.В. . Компараторная идентификация лингвистических объектов. Киев: Институт системных исследований образования Украины, 1993 115 с.

Поступила в редколлегию 01.06.99

АВТОРЫ ВЫПУСКА

1. *Белецкий Евгений Владимирович*, асп., ассист., Харьковский государственный технический университет радиоэлектроники (ХТУРЭ)
2. *Бодянский Е.В.*, д-р техн. наук, проф. ХТУРЭ
3. *Бондаренко Михаил Федорович*, д-р техн. наук, проф., академик АН ВШ, ректор ХТУРЭ
4. *Бурцев Валерий Николаевич*, науч. сотр. научно-производственной лаборатории «Цветодинамика»
5. *Бурцев Владимир Николаевич*, науч. сотр. научно-производственной лаборатории «Цветодинамика»
6. *Гвоздинская Наталья Анатольевна*, асп., ХТУРЭ
7. *Глушаков Сергей Владимирович*, нач. вычисл. Центра, Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта (ХГАЖТ)
8. *Друзь Валерий Анатольевич*, д-р биол. наук, проф., Харьковский университет внутренних дел (ХУВД)
9. *Дударь Зоя Владимировна*, канд. техн. наук, проф., ХТУРЭ
10. *Дьячкова Ольга Владимировна*, асп., ст. препод., Харьковский гуманитарный институт «Народная украинская академия» (ХГИ «НУА»)
11. *Евланов Максим Викторович*, ассист., ХТУРЭ
12. *Емец Олег Алексеевич*, д-р физ.-мат. наук, проф., Полтавский государственный технический университет (ПТУ)
13. *Ерохин Андрей Леонидович*, канд. техн. наук, доц., ХУВД
14. *Журавок Елена Владимировна*, мл. науч. сотр., ХТУРЭ
15. *Запорожец Олег Васильевич*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
16. *Каук Виктор Иванович*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
17. *Кизилова Наталья Николаевна*, канд. физ.-мат. наук, Харьковский государственный университет (ХГУ)
18. *Козяев Леонид Леонидович*, асп., ХТУРЭ
19. *Косулина Н.Г.*, инж., Харьковский технический университет сельского хозяйства (ХТУСХ)
20. *Ландграф Юрий Владимирович*, асп., ХТУРЭ
21. *Лапта Сергей Иванович*, канд. физ.-мат. наук, доц., ХТУРЭ
22. *Лапта Галина Евгеньевна*, канд. биол. наук, доц., ХТУРЭ
23. *Маторин Сергей Игоревич*, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ХТУРЭ
24. *Нестеренко Оксана Алексеевна*, асп., ХТУРЭ
25. *Пономаренко Ольга Сергеевна*, ассист., ХТУРЭ
26. *Попова Наталья Анатольевна*, студентка, ХГУ
27. *Пославский Сергей Александрович*, канд. физ.-мат. наук, доц., ХГУ

28. *Пронюк Анна Валерьевна*, асп., ХТУРЭ
29. *Путятина Татьяна Валерьевна*, инженер-системотехник, научно-производственная фирма «Вектор»
30. *Рагулина Ольга Евгеньевна*, ассист. Харьковской юридической академии (ХЮА)
31. *Ронин Евгений Маркович*, студент, ХТУРЭ
32. *Роскладка Андрей Анатольевич*, асп., ПГТУ
33. *Рублинецкий Владимир Ильич*, ст. науч. сотр., ХТУРЭ
34. *Самсонкин Валерий Николаевич*, д-р техн. наук, доц., ХГАЖТ
35. *Соловьева Екатерина Александровна*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
36. *Тесля Юрий Николаевич*, канд. техн. наук, доц., Черкасский инженерно-технологический институт.
37. *Туревский Александр Леонидович*, стажер-исследователь, ХТУРЭ
38. *Чалый Сергей Федорович*, канд. техн. наук, доц., ХТУРЭ
39. *Черенков Александр Данилович*, канд. техн. наук, доц., ХТУСХ
40. *Чикина Валентина Алексеевна*, канд. техн. наук, ведущий науч. сотр., ХТУРЭ
41. *Чикина Наталья Александровна*, ст. препод., Харьковский политехнический университет
42. *Чуриков Константин Анатольевич*, соискатель, ХТУСХ
43. *Шабанов-Кушнарченко Сергей Юрьевич*, д-р техн. наук, ведущий науч. сотр., ХТУРЭ
44. *Шабанов-Кушнарченко Юрий Петрович*, засл. деят. науки и техники Украины, д-р техн. наук, проф., ХТУРЭ
45. *Шаронова Наталья Валерьевна*, д-р техн. наук, проф., ХГИ «НУА»
46. *Шатовская Татьяна Борисовна*, асп., ХТУРЭ

СОДЕРЖАНИЕ

Бондаренко М.Ф., Маторин С.И., Нестеренко О.А., Соловьева Е.А. Системологические методы концептуального моделирования слабоструктурированных проблемных областей на основе естественной классификации	3
Дударь З.В., Пославский С.А., Пронюк А.В., Шабанов-Кушнарченко С.Ю. Предикаты эквивалентности в задачах компараторной идентификации	19
Дударь З.В., Пронюк А.В., Шабанов-Кушнарченко С.Ю. Об изоморфных предикатах эквивалентности	27
Ронин Е.М., Рублинецкий В.И., Чикина В.А. Программа создания частотного словаря слов и выражений для русского языка	34
Журавок Е.В., Чикина В.А., Шабанов-Кушнарченко Ю.П. Схемная реализация морфологии русского языка на примере имен прилагательных	44
Ланта С.И., Ланта Г.Е. Математическая модель механизма ауторегуляции уровня глюкозы в крови человека	49
Белецкий Е.В. Модель знаний контекстного посредника	56
Шатовская Т.Б. Оценка предела ошибок в определении показателей эффективности в гребневых и робастных методах	60
Каук В.И., Чалый С.Ф. Принципы реинжиниринга внутрифирменного документооборота с использованием элементов искусственного интеллекта	67
Кизилова Н.Н., Попова Н.А. Исследование транспортных систем листьев растений	71
Косулина Н.Г., Чикина Н.А. О возможности диагностики заболеваний у животных путем измерения собственного электромагнитного излучения тканей (радиотермометрия)	80
Бодянский Е.В., Запорожец О.В., Пуяткина Т.В., Рагулина О.Е. Нейросетевая модель факторного анализа	84
Глушаков С.В., Друзь В.А., Самсонкин В.Н. Системный подход к оценке функционального состояния человека-оператора в человеко-машинной системе	91
Евланов М.В. Влияние принципов самоорганизации на процессы создания информационных управляющих систем	100
Гвоздинская Н.А. Булевы и предикатные логические пространства	106
Черенков А.Д. Математическая модель кровотока в нестационарном режиме для сельскохозяйственных животных	116
Козяев Л.Л. Определение общего вида функции динамики адаптации цветового зрения	121

<i>Чуриков К.А.</i> Оптимизация параметров и процессов в одной экологической системе	125
<i>Туревский А.Л.</i> Разработка программных средств поддержки концептуального моделирования слабоструктурированных проблемных областей	130
<i>Пономаренко О.С.</i> Интеллектуальные CASE-средства нового поколения	141
<i>Ландграф Ю.В.</i> Технологии поиска естественно-языковой информации в современных информационных системах на основе семантических моделей	146
<i>Бурцев В.Н., Бурцев Вл.Н., Ерохин А.Л.</i> Способ моделирования стохастических процессов с помощью топологических преобразований	151
<i>Емец О.А., Роскладка А.А.</i> Модель выбора подмножества задач для ЭВМ с минимизацией количества периферийных устройств как задача комбинаторной оптимизации	158
<i>Тесля Ю.Н.</i> Повышение эффективности использования памяти в рефлексорных системах естественно-языкового общения	162
<i>Дьячкова О.В., Шаронова Н.В.</i> Моделирование семантических связей в обучающих мультимедиа-системах на основе метода компараторной идентификации	168
Авторы выпуска	174

CONTENTS

<i>Bondarenko M.F., Matorin S.I., Nesterenko O.A., Solovyova E.A.</i> Systemological methods of conceptual modeling of ill structuring problem areas based on natural classification	3
<i>Dudar Z.V., Poslavsky S.A., Pronyuk A.V., Shabanov-Kushnarenko S.Yu.</i> Predicates of equivalence in tasks of comparative identification	19
<i>Dudar Z.V., Pronyuk A.V., Shabanov-Kushnarenko S.Yu.</i> About isomorfismes of equivalence predicates	27
<i>Ronin E.M., Rublinetsky V.I., Chikina V.A.</i> The Program of Construction of Frequency Vocabulary of Words and Combinations of Words for the Russian Language	34
<i>Zhuravok E., Chikina V., Shabanov-Kushnarenko Yu.</i> Circuit realization morfology of Russian on an example adjectives	44
<i>Lapta S.I., Lapta G.E.</i> Mathematical model of the mechanism of glucose level autoregulation in human blood	49
<i>Biletskiy Ye.V.</i> The Knowledge Model of Context Mediator	56
<i>Shatovska T.B.</i> Estimation of a mistakes limit in definition of parameters efficiency in ridge and robustness methods	60
<i>Kayk V.I., Chaliy S.F.</i> Reengineering principles of firm document circulation with use of elements of an artificial intelligence	67
<i>Kizilova N.N., Popova N.A.</i> Investigation of the plant leaves' transport systems	71
<i>Kosulina N.G., Chikina N.A.</i> About an opportunity of testing animal by measuring natural electromagnetic radiation of tissues	80
<i>Bodyanskiy Ye.V., Zaporozhets O.V., Putyatina T.V., Ragulina O.Ye.</i> Neural network model for factor analysis	84
<i>Glushakov S.V., Druz' V.A., Samsonkin V.N.</i> The system approach to state evaluation of human operator in human-machine system	91
<i>Evlanov M.V.</i> The self-organization principles influence on an information control systems creation processes	100
<i>Gvozdinska N.A.</i> Boolean and predicative logical spaces	106
<i>Cherenkov A.D.</i> Mathematical model of blood stream in a non-stationary mode for agricultural animals	116
<i>Kozyayev L.L.</i> Definition of a general kind of function of dynamics of adaptation of colour sight	121
<i>Churikov K.A.</i> Optimization of the parameters of the processes in any ecological system	125
<i>Turevsky O.L.</i> Development of program means for support of ill-structured subjective environments conceptual modeling	130

<i>Ponomarenko O.S.</i> New generation intelligent CASE-tool	141
<i>Landgraf Y.V.</i> Semantic Based Natural Language Information Retrieval in Modern Information Systems.....	146
<i>Burtsev V., Burtsev V., Yerokhin A.</i> Way of modeling of equilibrium processes with the help of topological transformations.....	151
<i>Yemets O.A., Roskladka A.A.</i> The model of select a subset of problems for an electronic computer with minimization of number a peripheral appliances as the problem of combinatorial optimization	158
<i>Teslya Y.M.</i> The increasing of efficacy of memory using in the reflection system of natural-language contact.....	162
<i>Dyachkova O.V., Sharonova N.V.</i> The modeling of the semantic tutoring multimediasystems based on comparison method.....	168
Our authors.....	174

УДК 005.001.57; 519.766

Системологические методы концептуального моделирования слабо-структурированных проблемных областей на основе естественной классификации / М.Ф. Бондаренко, С.И. Маторин, О.А. Нестеренко, Е.А. Соловьева // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 3-18.

Рассмотрены теоретические и практические вопросы применения естественных классификаций, а также системологический классификационный анализ, алгоритм построения концептуальной классификационной модели на основе естественной классификации. Описаны результаты разработки интеллектуальной системы экспертного анализа состояния окружающей среды, прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций на основе классификаций.

Табл.2. Ил. 5. Библиогр.: 15 назв.

УДК 005.001.57; 519.766

Системологічні методи концептуального моделювання слабоструктурованих проблемних галузей на основі природної класифікації / М.Ф. Бондаренко, С.І. Маторін, О.О. Нестеренко, К.О. Соловйова // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 3-18.

Разглянуто теоретичні та практичні питання використання природних класифікацій, а також системологічний класифікаційний аналіз, алгоритм побудови концептуальної класифікаційної моделі на основі природної класифікації. Описано результати розробки інтелектуальної системи експертного аналізу стану навколишнього середовища, прогнозування й запобігання надзвичайним ситуаціям на основі класифікацій.

Табл.2. Іл. 5. Бібліогр.: 15 назв.

UDK 005.001.57; 519.766

Systemological methods of conceptual modeling of ill structured problem areas based on natural classification / M.F. Bondarenko, S.I. Matorin, O.A. Nesterenko, E.A. Solovyova // Problemy Bioniki. 1999. N 51. P. 3-18.

Theoretical and practical questions of natural classifications usage are presented as well as systemological classification analysis, algorithm of conceptual classification model building based on natural classification. Results of building of intelligent system of environment state expert analysis, prediction and preventing of extraordinary situations based on natural classification is described.

Tab.2. Fig. 5. Ref.: 15 items.

УДК 519.7

Предикаты эквивалентности в задачах компараторной идентификации / З.В. Дударь, С.А. Пославский, А.В. Пронюк, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 19-26.

Рассмотрен общий вид предиката эквивалентности как модели объекта компараторной идентификации. Обоснована система необходимых и достаточных условий возможности применения компараторной идентификации. Изучены некоторые вопросы изоморфизмов модели и особенностей ее практического использования.

Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

УДК 519.7

Предикати еквівалентності у задачах компараторної ідентифікації / З.В. Дударь, С.О. Пославський, А.В. Пронюк, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 19-26.

Розглянуто загальний вигляд предиката еквівалентності як моделі об'єкта компараторної ідентифікації. Обґрунтовано систему необхідних та достатніх умов можливості застосування компараторної ідентифікації. Вивчено деякі питання ізоморфізмів моделі та особливості її практичного використання.

Іл. 1. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 519.7

Predicates of equivalence in tasks of comparative identification / Z.V. Dudar, S.A. Poslavsky, A.V. Pronyuk, S.Yu. Shabanov-Kushnarenko // Problemy bioniki. 1999. N 51. С. 19-26

General form of a predicate of equivalence as object of comparative identification models is considered. The system of necessary and sufficient conditions of an opportunity of comparative identification application is grounded. Some questions of model isomorfismes and features of its practical applicability are investigated.

Fig. 1 Ref.: 7 items.

УДК 519.7

Об изоморфных предикатах эквивалентности / З.В. Дударь, А.В. Пронюк, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 27-33.

Рассмотрены виды и свойства изоморфизмов предиката эквивалентности как одной из основных моделей компараторной идентификации. Изучена связь видов изоморфизмов модели с практическими особенностями измерения входных сигналов. Определены условия, при которых компараторный метод идентификации эффективен.

Библиогр.: 1 назв. в подстрочн. примеч.

УДК 519.7

Про ізоморфні предикати еквівалентності / З.В. Дударь, А.В. Пронюк, С.Ю. Шабанов-Кушнарєнко // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 27-33.

Розглянуті види та властивості ізоморфізмів предиката еквівалентності як однієї з основних моделей компараторної ідентифікації. Вивчено зв'язок видів ізоморфізмів моделі з практичними особливостями вимірювання вхідних сигналів. Обґрунтовано умови, за яких компараторний метод ідентифікації ефективний.

Бібліогр.: 1 назва в підряд. прим.

UDC 519.7

About isomorfismes of equivalence predicates / Z.V. Dudar, A.V. Pronyuk, S.Yu. Shabanov-Kushnarenko // Problemy bioniki. 1999. № 51. P. 27-33.

Kinds and properties of equivalence predicate isomorfismes as one of basic models of comparative identification are considered. Connection of kinds of model isomorfismes with practical features of measurement of input signals is investigated. Conditions are determined, at which the comparative method of identification is effective.

Ref.: 1 item.

УДК 519.7

Программа создания частотного словаря слов и выражений для русского языка / Е.М. Ронин, В.И.Рублинецкий, В.А.Чикина // Проблемы бионики. 1999. Вип. 51 С. 34-43.

Описан подход к автоматизированному подсчету частот слов. Рассмотрены задачи для создания алгоритмов обработки естественно-языковых (Е-Я) текстов: выбор способа хранения словарной и грамматической информации; метод ее обработки; метод анализа поступающей Е-Я информации; построение статистической модели применения определенных слов и словосочетаний; выбор способа пополнения словаря; способность алгоритма к сбору и использованию словарно-грамматической информации. Рассмотрена программная реализация выбранных алгоритмов.

Табл. 8. Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.7

Програма створення частотного словника слів та висловів для російської мови / С.М. Ронін, В.І. Рублинецький, В.О. Чікіна // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 34-43.

Описано підхід до автоматизованого підрахунку частот слів. Розглянуті завдання для створення алгоритмів обробки природномовних (ПМ) текстів: вибір способу зберігання словникової та граматичної інформації; метод її обробки; метод аналізу прибуваючої ПМ інформації; побудова статистичної моделі застосування певних слів та словосполучень; вибір способу поповнення словника; здатність алгоритму до збору та використання словниково-граматичної інформації. Розглянута програма реалізації вибраних алгоритмів.

Табл. 8. Ил. 1. Бібліогр.: 5 назв.

UDK 519.7

The Program of Construction of Frequency Vocabulary of Words and Combinations of Words for the Russian Language / E.M.Ronin, V.I. Rublinetsky, V.A. Chikina // Problemy Bioniki. 1999. N 51. P. 34-43.

Approach to automatic counting of words frequency is described. The tasks for building of algorithms for processing natural language (NL) texts are considered: the choice of method of keeping lexical and grammatical information; method of its processing; the method of analysis of receiving NL information; building a statistical model of application of certain words and combination of words; choice of method of vocabulary replenishment; the ability of algorithm to collect and use lexical and grammatical information. The program of realization of selected algorithms is considered.

Tab. 8. Fig. 1. Ref.: 5 items.

УДК 519.7

Схемная реализация морфологии русского языка на примере имен прилагательных/ Е.В. Журавок, В.А. Чикина, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 44-48.

Изучаются и математически описываются связи между переменными, выявляющиеся в русском языке при словоизменении полных непритяжательных имен прилагательных. Рассматривается схемная реализация полученных закономерностей.

Табл. 1. Ил. 4. Библиогр.: 3 назв.

UDK 519.7

Схемна реалізація морфології російської мови на прикладі прикметників/ О.В. Журавок, В.О. Чікіна, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 44-48

Вивчаються та математично описуються зв'язки між змінними, які виявляються в російській мові при словозмінах повних неприсвійних прикметників. Розглянута схемна реалізація одержаних закономірностей.

Табл. 1. Іл. 4. Бібліогр.: 3 назви.

UDK 519.7

Circuit realization morfology of Russian on an example adjectives / E. Zhuravok, V. Chikina, Yu. Shabanov-Kushnarenko // Problemy Bioniki. 1999. N 51. P. 44-48.

Relations between variables, revealed in Russian at word change of complete non-possessive adjectives are studied and are mathematically described. Circuit realization of resulting regularities is considered.

Tab. 1. Fig. 5. Ref.: 3 items.

УДК 519.95: 612.018

Математическая модель механизма ауторегуляции уровня глюкозы в крови человека / С.И. Лапта, Г.Е. Лапта // Проблемы бионики, 1999. Вып. 51. С. 49-55.

Предложена новая математическая модель механизма ауторегуляции уровня глюкозы в крови человека. Она описывается системой двух нелинейных дифференциально-разностных уравнений первого порядка относительно глюкозы и инсулина. Проведен численный анализ уравнений модели. Продемонстрирована её эффективность в норме, при гипер- и гипогликемии.

Ил. 1. Библиогр.: 12 назв.

УДК 519.95: 612.018

Математична модель механізму ауторегуляції рівня глюкози у крові людини / С.І. Лапта, Г.Є. Лапта // Проблеми біоніки, 1999. Вип. 51. С 49-55.

Запропоновано нову математичну модель ауторегуляції рівня глюкози у крові людини. Вона описується системою двох нелінійних диференційно-відмінних рівнянь першого порядку відносно глюкози та інсуліну. Проведений чисельний аналіз рівнянь моделі. Продемонстровано її ефективність у нормі та при гіпер- і гіпоглікемії.

Іл. 1. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 519.95: 612.018

Mathematical model of the mechanism of glucose level autoregulation in human blood / S.I. Lapta, G.E. Lapta // Problemy Bioniki. 1999. N 51. P. 49-55.

The new mathematical model of glucose level autoregulation mechanism in human blood has been proposed. It is described by the system of two first order nonlinear differential-difference equations relative to glucose and insulin. Quantitative analysis of equations of the model has been carried out. Its effectiveness has been demonstrated by normal and hyper- or hypoglycemic conditions.

Fig. 1. Ref.: 12 items.

УДК 658.512

Модель знаний контекстного посредника / Е.В. Белецкий // Проблемы бионики. 1999. Вып.51. С. 56-59.

Представлена модель знаний системы контекстного обмена данными, основанная на логике предикатов высших порядков. Предложен метод решения проблемы приобретения и обработки контекстных знаний, построенных путем использования этой модели.

Библиогр.: 2 назв.

УДК 658.512

Модель знань контекстного посередника / Є.В. Білецький // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 56-59.

Представлена модель знань системи контекстного обміну даними, яка базується на логіці предикатів вищих порядків. Запропонований метод вирішення проблеми набуття та обробки контекстних знань, які будуються шляхом використання цієї моделі.

Бібліогр.: 2 назви.

UDC 658.512

The Knowledge Model of Context Mediator / Ye.V.Biletskiy // Problemi bioniki. 1999. N 51. P. 56-59.

Knowledge model of context interchange systems based on high-level predicate logic is presented. The way of solving the problem of receiving and processing context knowledge based on usage of this model is introduced.

Ref.: 2 items.

УДК 681.5.01.

✓ **Оценка предела ошибок в определении показателей эффективности в гребневых и робастных методах** / Т.Б. Шатовская // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 60-66.

Исследована проблема чувствительности алгоритмов идентификации к степени изменения статистических характеристик исходных данных. Рассмотрен класс статических моделей и оценена чувствительность алгоритмов идентификации к степени обусловленности исходных данных и виду закона распределения.

Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 681.5.01.

Оцінка ліміту помилок у визначенні показників ефективності у гребневих та робастних методах / Т. Б. Шатовська // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 60-66.

Досліджена проблема чутливості алгоритмів ідентифікації до ступеня зміни статистичних характеристик вхідних даних. Розглянуто клас статичних моделей і оцінена чутливість алгоритмів ідентифікації до ступеня зумовленості вхідних даних і вигляду закону розподілу.

Табл. 1. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 681.5.01.

Estimation of a mistakes limit in definition of parameters efficiency in ridge and robustness methods / T.B. Shatovska // Problemi bioniki. 1999. N 51. P. 60-66.

The article researches problem of sensitivity of identifications algorithms in degrees of changing the statistical features of input data. Class of steady-state models is considered and the sensitivity of identifications algorithms to degrees of input data conditionality and type of the law of distribution is evaluated

Tab. 1. Ref.: 5 items.

УДК 519.711

Принципы реинжиниринга внутрифирменного документооборота с использованием элементов искусственного интеллекта / В.И. Каук., С.Ф. Чалый // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С 67-70.

Рассмотрены вопросы перепроектирования бизнес-процессов внутрифирменного документооборота. Предложено представление бизнес-процесса в форме производственного правила. Сформулированы принципы реинжиниринга бизнес-процессов документооборота.

Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

УДК 519.711

Принципи реінжинірингу внутрішньофірменого документообігу з використанням елементів штучного інтелекту / В.І. Каук, С.Ф. Чалый // Проблеми біоники. 1999. Вип. 51. С. 67-70.

Розглянуті питання перепроєктування бізнес-процесів внутрішньофірменого документообігу. Запропоновано уявлення бізнес-процесу у формі продукційного правила. Сформульовано принципи реінжинірингу бізнес-процесів документообігу.

Іл. 1. Бібліогр.: 2 назви.

UDC 519.711

Reengineering principles of firm document circulation with use of elements of an artificial intelligence / V.I. Kayk, S.F. Chaliy // Problems of bionic. 1999. N 51. P. 67-70.

Problems of redesigning of business-processes of firm document circulation are considered. The submission of business-process in the form of a production rule is offered. Reengineering principles of business processes of document circulation are formulated.

Fig. 1. Ref.: 2 items.

УДК 519.812.3:581.454

Исследование транспортных систем листьев растений / Н.Н. Кизилова, Н.А. Попова // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 71-79.

Представлены результаты измерений геометрических характеристик сосудисто-волокнистых пучков листьев с разными типами жилкования. Полученные результаты сравниваются с теоретическими параметрами, соответствующими модели оптимальных трубопроводов. Показано, что ветвящиеся сети сосудов листа хорошо согласуются с моделью оптимального трубопровода, обеспечивающего при данном объеме минимальное сопротивление движению.

Табл. 1. Ил. 5. Библиогр.: 11 назв.

УДК 519.812.3:581.454

Дослідження транспортних систем листя рослин / Н.М. Кізілова, Н.А. Попова // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 71-79.

Наведено результати вимірювань геометричних характеристик судинно-волокнистих пучків листя з різними типами жилкування. Ці результати порівнюються з теоретичними параметрами, що відповідають моделі оптимальних трубопроводів. Показано, що сіті судин листа, які розгалужуються, добре погоджуються з моделлю оптимального трубопроводу, який забезпечує для даного об'єму мінімальний опір руху

Табл. 1. Іл. 5. Бібліогр.: 11 назв.

UDC 519.812.3:581.454

Investigation of the plant leaves' transport systems / N.N. Kizilova, N.A. Popova // Problems of bionic. 1999. N 51. P. 71-79.

The results of geometric measurements of veins for leaves with different types of nervation are represented. The outcomes are compared to theoretical parameters appropriate to a model of optimum pipelines. It is shown, that webs of branching vessels are well agreed to a model of the optimum pipeline ensuring minimum resistance for given volume.

Tab. 1. Fig. 5. Ref.: 11 items.

УДК 619.616

О возможности диагностики заболеваний у животных путем измерения собственного электромагнитного излучения тканей (радиотермометрия) / Н.Г. Косулина, Н.А. Чикина // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 80-83.

Для диагностики заболеваний у животных предложен радиотермометр, действие которого основано на определении интенсивности собственного теплового излучения внутренних тканей. Радиотермометр может быть рекомендован для применения в ветеринарной практике при проведении скринингового обследования и периодического контроля состояния животного.

Табл. 1. Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.

УДК 619.616

Про можливість діагностики захворювань у тварин шляхом вимірювання власного електромагнітного випромінювання тканин (радіотермометрія) / Н.Г. Косулina, Н.А. Чікіна // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 80-83.

Для діагностики захворювань у тварин запропоновано радіотермометр, дія якого заснована на визначенні інтенсивності власного теплового випромінювання внутрішніх тканин. Радіотермометр може бути рекомендований для використання у ветеринарній практиці під час проведення скринінгового обстеження та періодичного контролю стану тварин.

Табл. 1. Іл. 1. Бібліогр.: 5 назв.

UDK 619.616

About an opportunity of testing animal by measuring natural electromagnetic radiation of tissues / N.G. Kosulina, N.A. Chikina // Problems of bionic. 1999. N 51. P. 80-83.

For diagnostics of diseases of animals the radiothermometer is offered. Its is based on determining the intensity of natural heat radiation of interior tissues. The radiothermometer can be recommended for application in veterinary practice for survey and periodic status monitoring of animals.

Tab. 1. Fig. 1. Ref.: 5 items.

УДК 681.513.7

Нейросетевая модель факторного анализа / Е.В. Бодянский, О.В. Запорожцев, Т.В. Путьгина, О.С. Рагулина // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 84-90.

Наиболее эффективным для решения проблемы сжатия больших массивов данных является метод главных компонент факторного анализа. При поступлении данных в реальном масштабе времени целесообразно использование идеи рекурсивного вычисления главных компонент и обобщенного алгоритма Хобба-Сенгера. Построена искусственная нейронная сеть из нейронов Оя, реализующая этот алгоритм.

Ил. 3. Библіогр.: 12 назв.

UDK 681.513.7

Нейромережевая модель факторного анализа / Е.В. Бодянский, О.В. Запорожцев, Т.В. Путьгина, О.С. Рагулина // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 84-90.

Наиболее эффективным для решения проблем сжатия больших по объёму массивов данных с метод главных компонент факторного анализа. Якщо дані надходять в реальному часі, доцільне використання ідей рекурсивного методу обчислення головних компонент та узагальненого алгоритму Хобба-Сенгера. Побудовано штучну нейронну мережу з нейронів Оя, що реалізує цей алгоритм.

Іл. 3. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 681.513.7

Neural network model for factor analysis / Ye.V. Bodyanskiy, O.V. Zaporozhets, T.V. Putyatina, O.Ye. Ragulina // *Bionics Problems*. 1999. N 51. P. 84-90.

Principal component method of factorial analysis is most effective for data compression problem solution. If data are collected in real time it is advisable to use an idea of recursive calculation of the main components and Hebb-Senger extended algorithm. The algorithm is implemented as artificial neuron network consisting of Oja's neurons

Fig. 3. Ref.: 12 items.

УДК 62-526:616-057

Системный подход к оценке функционального состояния человека-оператора в человеко-машинной системе / С.В. Глушаков, В.А. Друзь, В.Н. Самсонкин // *Проблемы бионики*. 1999. Вып. 51. С. 91-99.

Описан системный подход к оценке состояния по конечному результату деятельности. Для надежной работы человека-оператора в системе "человек-среда-машина" предложен самообучающийся автомат, который в случае необходимости дублирует функции человека в определенных пределах.

Ил. 4. Библиогр.: 5 назв.

УДК 62-526:616-057

Системний підхід до оцінки функціонального стану людини - оператора в людино-машинній системі / С.В. Глушаков, В.А. Друзь, В.М. Самсонкін // *Проблеми біоніки*. 1999. Вип. 51. С. 91-99.

Описано системний підхід до оцінки стану по кінцевому результату діяльності. Для надійної праці людини-оператора в системі "людина-середовище-машина" запропоновано автомат, що сам навчається, який у випадку необхідності дублює функції людини у певних межах.

Іл. 4. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 62-526:616-057

The system approach to state evaluation of human operator in human-machine system / S.V. Glushakov, V.A. Druz', V.N. Samsonkin // *Problems of bionics*. 1999. N 51. P. 91-99.

The problem of trustworthy human state evaluation in «human-machine» system is quite topical. The system approach to state evaluation in dependence on final result of activity is described in the paper. Self-training automatic machine is suggested for reliable work of human operator in «human-environment-machine» system. Automatic machine can duplicate human actions within certain limits if necessary.

Fig. 4. Ref.: 5. items.

УДК 658.012.011.56:061.5/ 6

Влияние принципов самоорганизации на процессы создания информационных управляющих систем / М.В. Евланов // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 100-105.

Рассмотрены основные принципы самоорганизации, обусловлена необходимость их использования при создании ИУС. Предложены измененные с учетом принципов самоорганизации представления понятий «система» и «организационная система управления», функциональная структура ИУС с элементами самоорганизации.

Ил. 1. Библиогр.: 6 назв.

УДК 658.012.011.56:061.5/ 6

Вплив принципів самоорганізації на процеси створення інформаційних керуючих систем / М.В. Євланов // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 100-105.

Розглянуті основні принципи самоорганізації, обумовлена необхідність їх використання при створенні ІКС. Запропоновані змінені з урахуванням принципів самоорганізації подання понять «система» та «організаційна система управління», функціональна структура ІКС з елементами самоорганізації.

Ил. 1. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 658.012.011.56:061.5/ 6

The self-organization principles influence on an information control systems creation processes / M.V. Evlanov // Problemy bioniki. 1999. N 51. P. 100-105.

Basic self-organization principles are considered, their employment by ICS creation is specified. Ideas of concepts «system» and «management information system», changed with regard to self-organization principles, ICS with self-organization elements functional structure are offered.

Fig. 1. Ref.: 6 items.

УДК 519.7

Булевы и предикатные логические пространства / Н.А. Гвоздинская // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 106-115.

Введено понятие предикатного логического пространства. Определены правила, по которым находят дизъюнкцию, конъюнкцию векторов такого пространства, а также произведение логического вектора на логический скаляр. Эти правила проиллюстрированы графически. Доказана теорема о совершенстве предикатного пространства. Предложены правила для вычисления размерности предикатного и булева логических пространств.

Ил. 7. Библиогр.: 11 назв.

УДК 519.7

Булеві та предикатні логічні простори / Н.А. Гвоздінська // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 106-115.

Введено поняття предикатного логічного простору, а також правило, згідно з яким знаходяться диз'юнкція, кон'юнкція векторів такого простору і добуток логічного вектора на логічний скаляр. Ці правила проілюстровані графічно. Доведено теорему про досконалість предикатного простору. Запропоновано правила щодо обчислювання розмірності предикатного та булевого логічних просторів.

Літ. 7. Бібліогр.: 11 назв

UDC 519.7

Boolean and predicative logical spaces / N.A. Gvozdinska // Problemi bioniki. 1999. N. 51. P. 106-115.

The notion of the predicative logical spaces are introduced. The rules for calculation of disjunction, conjunction of the vectors of such space and of multiplication of the logical vector to the logical scalar. These rules are illustrated by pictures. The theorem about perfection of the predicative space is proved. The rules for calculation of measurement of boolean and predicative spaces are offered.

Fig. 7. Refs: 11 items.

УДК 632.935.4

Математическая модель кровотока в нестационарном режиме для сельскохозяйственных животных / А.Д. Черепков // Проблемы бионики, 1999. Вип. 51. С. 116-120.

Исследована нестационарная модель кровотока. Получено выражение для продольной скорости движения эритроцитов, как функция диаметра сосуда, величины импульса давления и величины скважности следования импульсов. Результаты исследований применимы для оценки явлений, связанных с воздействием на кровоток электромагнитных полей и дистанционным измерением температуры животных.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 632.935.4

Математична модель кровотоку в нестационарному режимі для сільськогосподарських тварин / О.Д. Черепков // Проблеми біоніки, 1999. Вип. 51. С. 116-120.

Досліджена нестационарна модель кровотоку. Отримано вираз для поперечної швидкості руху еритроцитів, як функції діаметра судини, величини імпульсу тиску й величини скважності слідування імпульсів. Результати досліджень можуть бути використані для оцінки явищ, пов'язаних з впливом на кровоток електромагнітних полів і дистанційним виміром температури тварин.

Бібліогр.: 3 назви.

UDC 632.935.4

Mathematical model of blood stream in a non-stationary mode for agricultural animals / A.D. Cherenkov // Problemi bioniki. N 51. P. 116-120.

The non-stationary model of blood stream is investigated. The expression for a longitudinal velocity of eritrocites' movements, as function of a diameter of a vessel, magnitude of impulse of pressure and magnitude of a porosity of following of impulses are obtained. The outcomes of research are applied for an evaluation of the phenomena connected with influence of electromagnetic fields on blood stream and for a remote measurement of temperature of animals.

Ref.: 3 items.

УДК 519.7

Определение общего вида функции динамики адаптации цветового зрения / Л. Л. Козяев // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 121-124.

Опытным путем исследовался механизм адаптации человеческого зрения. Изучалось поведение модели на реакцию типа скачок. Предложена математическая функция, позволяющая с высокой степенью точности описать процессы яркостной и цветовой адаптации, являющиеся частными случаями временного зрительного контраста. Определены значения постоянных коэффициентов, дающих наилучшее согласование теоретических и экспериментальных результатов.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.7

Встановлення загального вигляду функції динаміки адаптації кольорового зору / Л.Л. Козяев // Проблеми біоники. 1999. Вип. 51. С. 121-124.

Досліджувався механізм адаптації зору людини. Вивчалась поведінка моделі на реакцію типу стрибок. Запропонована математична функція, що дозволяє з високим рівнем точності описати процеси яскравісної та кольорової адаптації, що є окремими випадками часового зорового контрасту. Встановлено значення постійних коефіцієнтів, які дають найкраще узгодження теоретичних та експериментальних результатів.

Табл. 2. Іл. 3. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 519.7

Definition of a general kind of function of dynamics of adaptation of colour sight / L.L. Kozyayev // Problems of bionics. 1999. N 51. P. 121-124.

Mechanism of adaptation of human sight was investigated by practical consideration. Behaviour of model on reaction of a type jump was studied. Mathematical function, allowing with a high degree of accuracy to describe processes of brightness and colour adaptation, being special cases of temporary visual contrast, was offered. Values of constant factors, giving the best coordination of theoretical and experimental results, are determined.

Tab. 2. Fig. 3. Ref.: 4 items

УДК 519.6

Оптимизация параметров и процессов в одной экологической системе / К.А. Чуриков // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 125-129.

Рассмотрена математическая модель задачи оптимизации выбора местоположения экологически значимых объектов с минимизацией уровня загрязнения в них. Метод решения основан на минимизации функции цели по группам переменных, в котором направление улучшения значения функции цели ищется градиентным методом по параметрам размещения. Приведен пример численной реализации.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.6

Оптимізація параметрів і процесів в одній екологічній системі / К.А. Чуриков // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 125-129.

Розглянута математична модель задачі оптимізації вибору місцезнаходження екологічно значущих об'єктів з мінімізацією рівня забруднення в них. Метод розв'язання базується на мінімізації функції мети по групах змінних, у якому напрямком покращення значення функції мети шукається градієнтним методом за параметрами розміщення. Наведено приклад чисельної реалізації.

Іл. 2. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 519.6

Optimization of the parameters of the processes in any ecological system. / K.A. Churikov // Problems of bioniks. 1999. N 51. P. 125-129.

Mathematical model of optimization problem of the place of ecological objects with minimization of level of theirs pollution is described. The method of solution is based on minimization of the purpose function of improvement of the value of function is found by gradient method for parameters of placing. The example of numerical realization is presented.

Fig. 2. Ref.: 4 items.

УДК 681.3.01.519

Разработка программных средств поддержки концептуального моделирования слабоструктурированных проблемных областей / А.Л. Туревский // Проблемы бионики. Вып. 51. С. 130-140.

Статья посвящена изучению и разработке средств представления в автоматизированных системах концептуальных моделей сложных слабоструктурированных проблемных областей. Выбрана форма представления таких моделей, основанная на понятиях "класса", "свойства", "связи" и "процедуры". Разработанные инструментальные средства позволяют представлять как статические (подобные фреймам), так и динамические (процедурные) объекты. Создана программная система поддержки формирования и ведения баз знаний и данных, реализующих такие модели. Учтены требования надежности, защищенности и эффективности программных средств.

Библиогр.: 25 назв.

УДК 681.3.01.519

Розробка програмних засобів підтримки концептуального моделювання слабкоструктурованих проблемних середовищ / О.Л. Туревський // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 130-140.

Статтю присвячено вивченню та розробці засобів реалізації в автоматизованих системах концептуальних моделей складних слабкоструктурованих проблемних середовищ. Обрано форму втілення таких моделей, що заснована на поняттях "класу", "властивості", "зв'язку" та "процедури". Розроблені інструментальні засоби дозволяють зображувати як статичні (подібні до фреймів), так і динамічні (процедурні) об'єкти. Створено програмну систему підтримки формування та ведення баз знань та даних на основі таких моделей. Враховано вимоги забезпечення надійності, захищеності та ефективності програмних засобів.

Бібліогр.: 25 назв.

UDK 681.3.01 519

Development of program means for support of ill-structured subjective environments conceptual modeling / O. L. Turevsky // Problemy bioniki. 1999. N 51. P. 130-140.

This article deals with elaboration and development of methods for complicate ill-structured subjective environments realisation in automated modelling systems. A form for such model's realization was chosen based on abstractions of "class", "property", "link" and "procedure". The developed program tools make it possible to represent both static (like frames) and dynamic (procedural) objects. Program based on described disquisition was created. It can support the forming and control on data and knowledge bases backboneed on models like these. Requirements of reliability, safety and efficiency of program systems were taken into account.

Ref.: 25 items

УДК 007.681.518.2

Интеллектуальные CASE-средства нового поколения/ О.С. Пономаренко// Проблемы бионики. 1999 Вип. 51. С. 141-145.

Представлен новый подход к автоматизации разработки программного обеспечения (ПО). Приведена модель унифицированного жизненного цикла ПО, обеспечивающая сквозную интеллектуальную поддержку на всех этапах разработки ПО. Определена архитектура интеллектуального CASE-средства нового поколения, его структура, основные принципы функционирования и взаимодействия.

Ил. 2. Библиогр.: 5 назв.

УДК 007.681.518.2

Інтелектуальні CASE-засоби нового покоління/ О.С. Пономаренко // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 141-145.

Представлено новий підхід до автоматизації розробки програмного забезпечення (ПЗ). Наведена модель уніфікованого життєвого циклу ПЗ, що забезпечує наскрізну інтелектуальну підтримку на всіх етапах розробки ПЗ. Визначена архітектура інтелектуального CASE-засобу нового покоління, його структура, основні принципи функціонування та взаємодії.

Іл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

UDK 007.681 518.2

New generation intelligent CASE-tools / O.S. Ponomarenko // Problemy Bioniki. 1999. N 51 P. 141-145.

In this paper a new approach to automation of software engineering is considered. A model of software universal life cycle was put, that provides through intelligent support on all stages of software engineering. Architecture of intelligent CASE-tool of new generation, tools structure, and basic principles of function and interaction were defined

Fig. 2. Ref.: 5 items.

УДК 025.4.03

Технологии поиска естественно-языковой информации в современных информационных системах на основе семантических моделей / Ю.В. Ландграф // Проблемы бионики. 1999. Вип.51. С. 146-150.

Сделан обзор проблемной области, рассмотрены основные вопросы, связанные с созданием информационно-поисковых систем (ИПС), проанализирована структура ИПС и технологии поиска на основе одного из методов – латентно-семантического индексирования. Данный метод позволяет вести семантический поиск информации и добиваться лучших результатов по сравнению с классическими методами поиска. Приводятся также основные критерии оценки качества поиска.

Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 025.4.03

Технології пошуку природномовної інформації у сучасних інформаційних системах на основі семантичних моделей / Ю.В. Ландграф // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 146-150.

Зроблено огляд проблемної галузі, розглянуті основні питання, зв'язані з побудовою інформаційно-пошукових систем (ІПС), проаналізована структура ІПС та технології пошуку на основі одного з методів – латентно-семантичної індексації. Цей метод дозволяє проводити семантичний пошук інформації і тим самим добиватися кращих результатів у порівнянні з класичними методами пошуку. Наводяться також основні критерії оцінки якості пошуку.

Іл. 1. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 025.4.03

Semantic Based Natural Language Information Retrieval in Modern Information Systems / Y.V. Landgraf // Problemy Bioniki. 1999. No. 51. P. 146-150.

In this paper the natural language information retrieval is reviewed, together with the questions about building information retrieval systems. The structure of the information retrieval system has been analyzed. The method of latent-semantic indexing has been reviewed. This method allows to perform semantic search and gives better results than using classic search methods. The article also discusses retrieval quality criteria.

Fig. 1. Ref.: 4 items

УДК 681.519.7

Способ моделирования стохастических процессов с помощью топологических преобразований / В.Н. Бурцев, Вл.Н. Бурцев, А.Л. Ерохин // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 151-157.

Рассмотрен способ физического моделирования стохастических процессов, основанный на использовании волоконно-оптических преобразователей изображений. Физическая модель описана математически посредством аппарата теории множеств и цепей Маркова. Для формализации процесса преобразования изображений рассмотрена структура растровых фрагментов первичных и преобразованных изображений с позиции теории множеств.

Ил. 6. Библиогр.: 9 назв.

УДК 681.519.7

Спосіб моделювання стохастичних процесів за допомогою топологічних перетворень / В.М. Бурцев, Вол.М. Бурцев, А.Л. Єрохін // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 151-157.

Розглянуто спосіб фізичного моделювання стохастичних процесів, що базується на використанні волоконно-оптичних перетворювачів зображень. Фізичну модель описано математично за допомогою апарату теорії множин і ланцюгів Маркова. Для формалізації процесу перетворення зображень розглянуто структуру растрових фрагментів первинних і перетворених зображень з позиції теорії множин.

Іл. 6. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 681.519.7

Way of modeling of equilibrium processes with the help of topological transformations/ V. Burtsev, Vl. Burtsev, A. Yerokhin // Problemy Bioniki. 1999. N 51. P. 151-157.

The way of physical modeling of stochastic processes based on use of optical fibre converters of the images is considered. The physical model is described by means of the device of the theory of sets and Markov-circuits. For formalization of process of transformation of the images the raster structure of fragments of the primary and transformed images from a position of the theory of sets is considered.

Fig.6. Ref.: 9 items.

УДК 519.85

Модель выбора подмножества задач для ЭВМ с минимизацией количества периферийных устройств как задача комбинаторной оптимизации / О.А. Емец, А.А. Роскладка // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 158-161.

Рассмотрена комбинаторная модель оптимального выбора периферии для решения различных задач на ЭИМ.

Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.85

Модель вибору підмножини задач для ЕОМ з мінімізацією кількості периферійних пристроїв як задача комбінаторної оптимізації / О.О. Ємець, А.А. Роскладка// Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 158-161.

Розглянута комбінаторна модель оптимального вибору периферії для розв'язування різних задач на ЕОМ.

Бібліогр.: 5 назв.

UDC 519.85

The model of select a subset of problems for an electronic computer with minimization of number a peripheral appliances as the problem of combinatorial optimization / O. A. Yemets, A. A. Roskladka // The problems of bionics. 1999. N 51. P. 158-161.

The combinatorial model for a problem of optimal selection of peripheral devices for solution of different problems on computer is considered.

Ref.: 5 items.

УДК 681. 335.001.53

Повышение эффективности использования памяти в рефлекторных системах естественно-языкового общения / Ю.Н. Тесля // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 162-167.

Изложены проблемы построения рефлекторных систем естественно-языкового общения. Показано, что расширение возможностей этих систем связано с повышением эффективности использования памяти. Разработан метод оценки и изложены принципы управления памятью рефлекторных систем естественно-языкового общения.

Ил. 1. Библиогр.: 7 назв.

УДК 681. 335.001.53

Підвищення ефективності використання пам'яті в рефлекторних системах природномовного спілкування / Ю.М. Тесля // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 162-167.

Викладено проблеми побудови рефлекторних систем природномовного спілкування. Показано, що розширення можливостей таких систем пов'язано з підвищенням ефективності використання пам'яті. Розроблено метод оцінки та викладено принципи управління пам'яттю рефлекторних систем природно-мовного спілкування.

Ил. 1. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 681.335.001.53

The increasing of efficacy of memory using in the reflection system of natural-language contact / Y.M. Teslya / Problems of bionics. 1999. N 51. P. 162-167.

The problems of developing of reflection systems of natural-language contact are stated. The connection between the extension of possibility of this systems and increasing efficiency of memory usage is shown. The estimation method is developed and the method of memory control of reflection systems of nature-language contact is stated.

Fig. 1. Ref.: 6 items.

УДК 681.332

Моделирование семантических связей в обучающих мультимедиа-системах на основе метода компараторной идентификации / О.В. Дьячкова, Н.В. Шаронова // Проблемы бионики. 1999. Вып. 51. С. 168-173.

Рассмотрены вопросы представления и классификации неструктурированных данных в обучающих мультимедиа-системах. Предложено использовать метод компараторной идентификации для разбиения на классы эквивалентности и связывания в гиперструктуру документов, отобранных в результате запроса к базе мультимедиа-данных.

Библиогр.: 3 назв.

УДК 681.332

Моделивання семантичних зв'язків у навчальних мультимедіа-системах на основі методу компараторної ідентифікації / О.В. Дьячкова, Н.В. Шаронова // Проблеми біоніки. 1999. Вип. 51. С. 168-173.

Розглянуто питання подання і класифікації неструктурованих даних у навчальних мультимедіа-системах. Запропоновано використати метод компараторної ідентифікації для розбивання на класи еквівалентності і зв'язування в гіперструктуру документів, відібраних в результаті запиту до бази мультимедіа-даних.

Бібліогр.: 3 назви.

UDC 681.332

The modeling of the semantic tutoring multimedia systems based on comparison method / O.V. Dyachkova, N.V. Sharonova // The problems of bionics. 1999. N 51. P. 168-173.

The questions of unstructured data presentation and classification in hypermedia tutoring systems are described. It is offered to apply the comparative identification method to decompose into equivalence classes and binding together to hyperstructure the documents from multimedia data base, that were selected as a query result.

Ref.: 3 items.