

007/06)  
П 78

007/06)

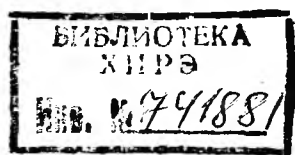
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

# ПРОБЛЕМЫ БИОНИКИ

Всеукраинский межведомственный  
научно-технический сборник

Основан в 1968 г.

ВЫПУСК 53



Харків 2000

Харківський державний технічний університет радіоелектроніки

В сборнике публикуются статьи по БИОНИКЕ ИНТЕЛЛЕКТА. Рассматриваются: аппарат нейронных сетей; теория баз данных и знаний; теории принятия решений оценок; физика и математика информационных процессов; теория распознавания образов; системы искусственного интеллекта.

Для преподавателей вузов, научных работников и специалистов.

У збірнику публікуються статті з БІОНІКИ ІНТЕЛЕКТУ. Розглядаються: апарат нейронних мереж; теорія баз даних та знань; теорії прийняття рішень оцінок; фізика і математика інформаційних процесів; розпізнавання образів; системи штучного інтелекту.

Для викладачів вузів, наукових робітників та фахівців.

The journal publishes articles on the BIONICS OF INTELLIGENCE. The topics considered are: neural networks apparatus, theory of data and knowledge, decision-making theory, physics and mathematics of information process; artificial intelligence systems.

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

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

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

Рекомендовано Ученым советом Харьковского государственного технического университета радиоэлектроники.

Протокол № 28 от 29.12.2000

*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

© Харківський державний технічний університет радіоелектроніки, 2000

УДК 519.688

М. Ф. БОНДАРЕНКО, В. В. КУЛИБАБА, Е. А. СОЛОВЬЕВА

**БАЗОВЫЙ ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ  
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ ОСНОВАМ  
ДИСЦИПЛИН «TEACHCONCERT»**

В данной статье описан инструментарий для построения обучающих систем основам дисциплин, использующий в качестве концептуальной модели представления знаний классификацию предметной области, на основе которой будет осуществляться процесс обучения. Для повышения наглядности и информативности процесса обучения в системе были предусмотрены возможности использования дополнительных информационных источников (статьи, мультимедиа и т.д.).

Отсутствие систем, моделирующих процесс познания, затрудняет оценку полноты информации, которую преподаватель должен довести до обучаемого, а также проведение эффективного процесса обучения. Невысокая степень адаптивности существующих систем к быстрорастущим информационным потокам ведет к узкой специализации и, соответственно, росту номенклатуры обучающих систем [1, 2 и др.]. Это связано в первую очередь с тем, что многие изучаемые области знаний являются слабоструктурированными и не укладываются в рамки существующих традиционных алгоритмов обработки.

Вышеописанные проблемы стало возможным разрешить, используя в работе новые научные результаты по моделированию знаний, новые интеллектуальные методологии, способные функционировать в любой, в том числе слабоструктурированной проблемной области и использующие информационную модель [3], представленную в виде структур, максимально приближенных к тем, с которыми оперирует абстрактное мышление человека. Использование системологического классификационного анализа, как основы моделирования знаний [3] любых предметных областей, позволит унифицировать процесс построения концептуальной модели предметной области обучения, получить систему понятий, учитывающую существенные свойства объектов.

Использование параметрической классификации, основанной на неизвестных ранее критериях естественной классификации [3], при обучении дает неоспоримое преимущество для обучаемого, систематизируя знания и предоставляя их в структурированном и формализованном виде, раскрывая глубинные знания о дисциплине.

Базовый программный инструментарий (БПИ) предназначен для построения автоматизированных обучающих систем, использующих классификационные модели представления знаний [3]. Упрощенно процесс создания обучающей системы с помощью разработанного инструментария, можно разбить на несколько этапов:

- **«проектирование обучающей системы»** – включает выбор изучаемой предметной области, создание параметрической классификации на основе нового метода системологического классификационного анализа, а так же подбор лекционного материала;
- **«наполнение баз знаний по изучаемой предметной области»** – включает внесение в базу знаний (базы знаний) классификацию и лекционный материал по изучаемой предметной области, установление гиперссылок между лекционным материалом и классификацией;
- **«внедрение обучающей системы»** – предполагает тестирование обучающей системы, в том числе отладку информационных связей, установленных между лекционным материалом и классификацией.

Созданный инструментарий позволяет снизить трудозатраты для первого и второго этапов, а так же, в дальнейшем, послужит оболочкой для разрабатываемой обучающей системы.

Система обучения предполагает использование следующих входных и выходных данных:

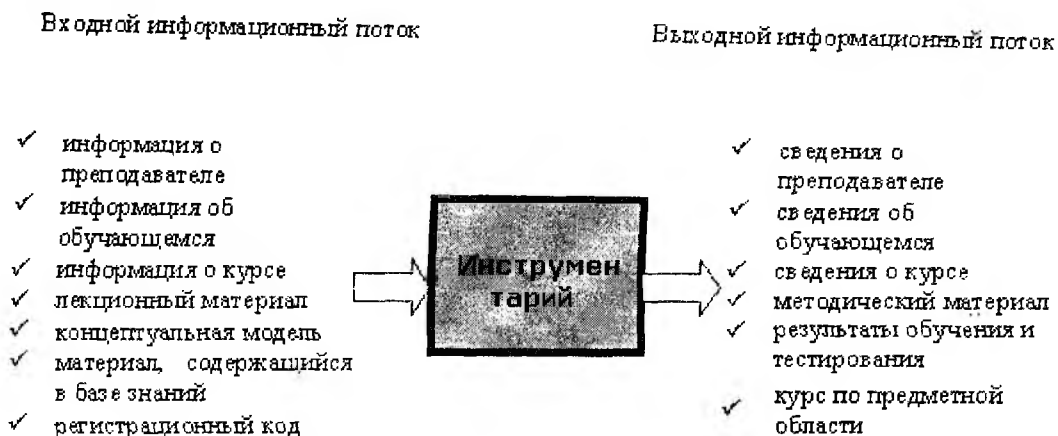


Рис. 1

На основании входного и выходного информационных потоков выделим основные цели, которые необходимо реализовать для создания полноценной обучающей системы:

- поддержка работы с базами знаний, используемыми при обучении и контроле знаний;
- обучение по выбранной предметной области;
- контроль знаний по выбранной предметной области;
- организация группового обучения.

Каждая из выделенных целей была реализована в отдельной подсистеме, которые могут взаимодействовать между собой посредством разработанного интерфейса (функции и процедуры).



Рис. 2

Для реализации «функции работы с базами знаний» был использован модифицированный под нужды системы инструментарий [9] для создания концептуальных моделей, разработанный в научно-учебной лаборатории Приобретения Знаний. Этот инструментарий позволяет реализовывать:

- основные функции для работы с моделью (добавление и удаление узла, модификация информации об узле и т.п.), а так же реализованы дополнительные функции повышающие эффективность работы с моделью («получить все используемые связи в модели», «получить количество узлов» и т.д.)
- графический интерфейс работы с концептуальной моделью;
- реляционные таблицы, которые полностью соответствуют используемой концептуальной модели (содержат информацию, как о понятиях, так и об их свойствах и связях между объектами), и повышают скорость и эффективность обработки данных.

Реализованная подсистема поддержки баз знаний использует в своей основе данный инструментарий, расширив его функциями для работы с базой данных учебного курса [4].



Рис. 3

При построении инструментария одним из актуальных вопросов был вопрос хранения информации об учебном курсе, куда должна входить информация о сценарии проведения учебного занятия, о структуре учебного занятия, информация об используемых концептуальных моделях, концептуальные модели и т.д. Для этого была разработана универсальная структура учебного курса.

Ключевой базой данных в информационной базе является «База данных, содержащая сведения о курсе». В этой базе хранятся ссылки: ссылка на концептуальную модель предметной области, ссылка на базу данных, содержащую лекционный материал, ссылка на базу данных, содержащую сценарий, заданный преподавателем, ссылка на базу данных, содержащую сценарий изложения лекционного материала. Данная структура предусматривает подключение других баз данных имеющих похожую структуру.

База данных, содержащая лекционный материал, содержит сведения о темах лекций используемых в данном курсе.

Базы данных, содержащие сценарии, предназначены для организации процесса изучения материала, в соответствии с требованиями преподавателя.

Для организации учебного курса следует подключить концептуальные модели, используемые в курсе, базу данных лекций курса, базы данных содержащие сценарии обучения.

Система обучения, создаваемая с использованием разработанного инструментария, является полнофункциональной обучающей системой, способной проводить тестирование и обучение обучаемого. В созданной системе были объединены преимущества справочно-информационной системы, обучающей системы и системы тестирования знаний.

Для системы обучения необходимо создать с помощью инструментария «учебный курс», включив в него лекционный материал, выполненный в формате HTML; базу знаний, построенную с использованием инструментария поддержки работы с концептуальными моделями. Адаптированный формат HTML позволяет объединить информацию из лекционного материала, существенно дополнив ее знаниями из концептуальной модели. Это позволяет пользователю, изучая лекционный материал, получить быструю справочную информацию по любому понятию, узнать его род, раскрыть объем (получив информацию по дочерним понятиям), изучить свойства соответствующего класса объектов.

Применение технологии ActiveX позволило работать с разнообразными типами данных: графические изображения, видео и звук, файлы различных программных приложений; это позволило расширить материал, используемый при составлении учебного курса, повысить его наглядность и удобство восприятия.

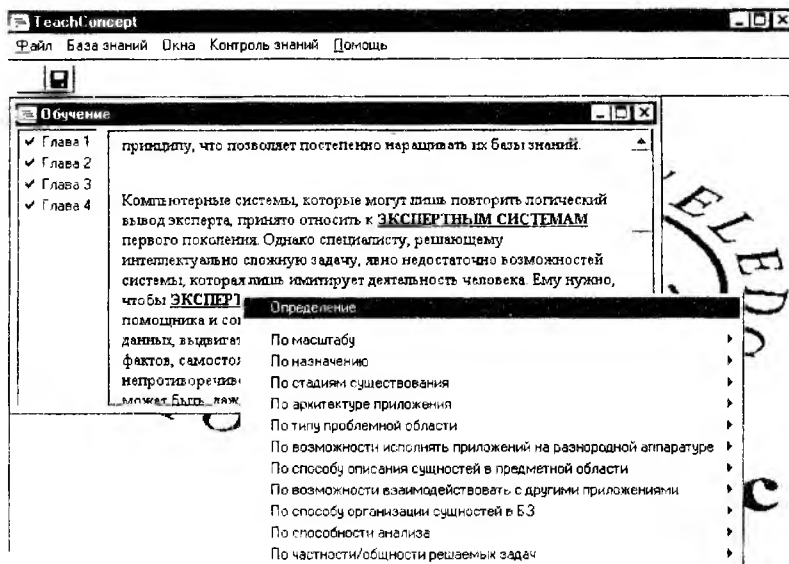


Рис. 4

Преимуществами созданной обучающей системы среди подобных систем – способность системы автоматически генерировать набор тестовых заданий, информация для которых выбирается из используемой концептуальной модели, а так же использовать разнообразные методики обучения, разработанные для изучения знаний представленных в виде классификационной модели [4].

Среди используемых методик обучения широко используется обход понятий классификации «сверху вниз», т.е. от родовых понятий к его видовым, с детальным изучением каждого видового понятия [4], изучение понятий от видовых к родовым по направлению «снизу вверх». Вполне возможно, что преподаватель посчитает целесообразным проводить обучение в смешанном порядке (это может быть обусловлено особенностью обучающей программы, созданной преподавателем при организации курса), для этих целей в системе предусматривается возможность задания сценария обучения. [4]

Большое преимущество при обучении дает графическое представление модели знаний предметной области (классификации), она позволяет охватить изучаемую предметную область на визуальном уровне, и позволяет изучать ее в произвольном порядке.

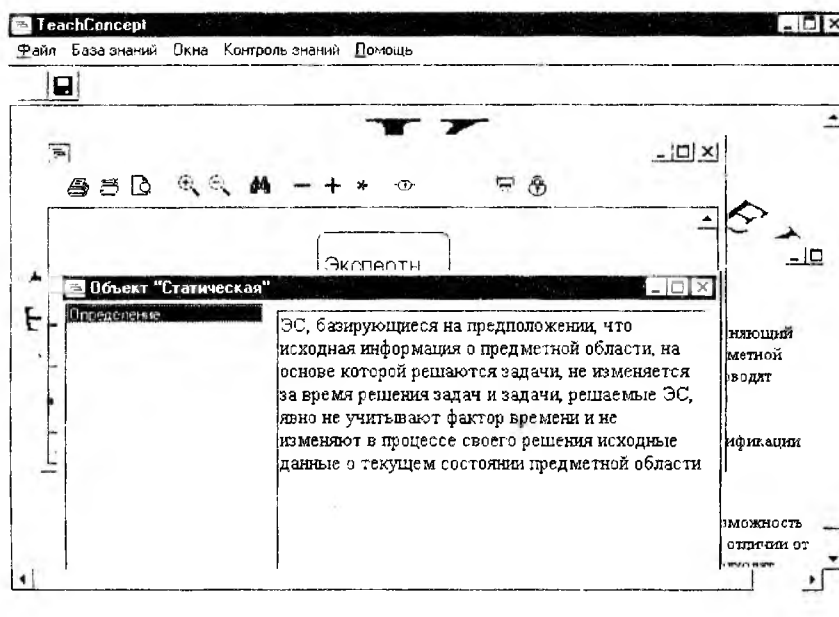


Рис. 5

С помощью созданной системы обучаемый сможет произвести как тестирование своих знаний, т.е. ответить на вопрос «знает» он или «не знает» изучаемое понятие, так и произвести диагностику знаний: определить, в какой части предметной области знания отсутствуют или неполны [4].

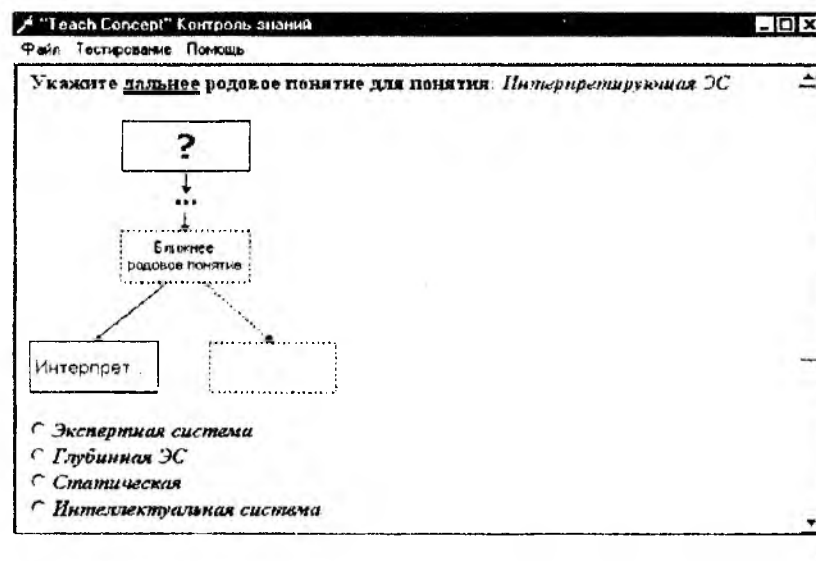


Рис. 6

Разработанный программный продукт может быть использован в любых организациях, деятельность которых связана с обучением, будь-то частные или государственные организации. Создаваемые системы обучения могут быть реализованы в учебных заведениях любой степени аккредитации: школы, колледжи, лицеи, профессионально – технические училища, академии, ВУЗы и т.д.

Особенность построения базы знаний заключается в объединении концептуальной модели данной предметной области (позволяющая глубоко изучить предметную область, понять взаимосвязь понятий и отношений между ними) и лекционного материала (полностью или частично охватывающего изучаемую дисциплину).

Организация обучения, построенная на использовании базы знаний, позволяет эффективно провести процесс изучения материала, найти пробелы в полученных знаниях у обучаемого и ликвидировать их. Использование концептуальной модели как системы терминов (понятий), хранящейся в базе знаний и предлагаемой к изучению, позволяет обучаемому глубоко изучить основы дисциплины: понятия, отношения, термины, классификации, расширяет области применения системы, например для освоения терминологии системы другого языка. Предлагаемый инструментарий можно использовать для создания систем обучения любым дисциплинам, в том числе – слабоформализованных.

Важным преимуществом инструментария является возможность создания новых курсов, добавление или изменение существующих. Такой подход к разработке обучающих систем позволяет снизить не только временные и материальные затраты, возникающие при построении любых обучающих систем, но и повысить качество обучения.

**Список литературы:** 1. *Исследование и разработка теоретических основ моделирования знаний о предметной области и процессы их приобретения для интеллектуализации обучающих систем и технологий:* Отчет о НИР. Харьковский Государственный Технический Университет Радиоэлектроники. № ГР 0193U039134. Х., 1996. 137 с. 2. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2000. 384 с. 3. *Соловьева Е.А.* Естественная классификация: системологические основания. Харьков: ХТУРЭ, 1999. 222 с. 4. *Соловйова К.О., Маторін С.І., Вороний М.Ф., Єременко В.О., Кіпріч М.С., Ковальов С.О., Кулібаба В.В.* Розробка інтелектуальної навчальної системи засадам довільних дисциплін. Харків: MICROCAD-99.

Поступила в редколлегию 30.10.2000

УДК 681.5.01

Н. С. ЛЕСНАЯ, В. Б. РЕПКА, Т. Б. ШАТОВСКАЯ

## ИТЕРАЦИОННАЯ ГРЕБНЕВАЯ ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ

Одной из сложных проблем при обработке данных регрессионным анализом является наличие мультиколлинеарности между независимыми переменными. Наиболее эффективными в этом случае являются методы смещенного оценивания, и, в частности, гребневые методы, позволяющие получить оценки параметров модели с меньшей среднеквадратической ошибкой по сравнению с обычным методом наименьших квадратов (МНК). При обработке данных с большим факторным пространством наиболее эффективными из гребневых методов, в смысле точности решения, являются итерационные. Однако при наличии вырожденности в информационной матрице, точность вычислений при применении этих методов значительно ухудшается, а также наблюдается значительное замедление их сходимости на множестве итераций. Метод погружается в “болота” – области замедления сходимости [3,4]. Значительный интерес представляет определение близости такого “болота”. В этом случае появляется возможность управлять процессом сходимости метода. Одним из важных факторов сходимости метода является определение начальных значений итерационного процесса.

В статье рассматривается процедура улучшения сходимости итерационного гребневого метода Harshman [2], основанная на применении оценок вырожденности. Будет показано, что наличие “болот” связано с наличием линейной связи между входными векторами.

**1. Моделирование исходных данных.** Определим трехмерный массив данных  $A=(a_{ijk})$  как:

$$A_{ijk} = \sum_{r=1}^R x_{ir} y_{jr} z_{kr} + n_{ijk}, \quad (1)$$

для  $i = 1, 2, \dots, I$ ;  $j = 1, 2, \dots, J$ ; и  $k = 1, 2, \dots, K$ ;

где  $X_{i \times R} = (x_{ir}) = [X_1, \dots, X_R]$ ;  $Y_{j \times R} = (y_{jr}) = [Y_1, \dots, Y_R]$ ;  $Z_{k \times R} = (z_{kr}) = [Z_1, \dots, Z_R]$  – факторные матрицы.

Генерация исходных данных проводилась согласно модели (1). При моделировании были использованы 64 различных массива данных, имеющих  $I = 40$ ,  $J = 40$ ,  $K = 4$ , и  $R = 4$ . В каждом испытании четыре столбца в наборе данных были линейно независимы, что является достаточным условием гарантии того, что ранг массива равен 4 для каждого набора. Наложение шума проводилось пропорционально к сигналу, что является более предпочтительным, чем использование аддитивного белого шума, для которого процедуры расчета МНК являются оптимальными. Поскольку шум, с которым сталкиваются на практике, является некой комбинацией пропорционального шума и аддитивного белого шума, был выбран подход, позволяющий получить общие результаты.

При проведении имитационного эксперимента использовались только случайные старты, восемь для каждого из 64 массивов данных. Для оценки связи между вырождением и сходимостью исследуемого метода, тест выполнялся для каждой пары коэффициентов,  $x_n$  – наименьший из всех возможных коэффициентов корреляции для векторов;  $n$  – соответствующий номер итерации. Для оценки степени близости итераций, использовались оценки  $D_n$  и  $Y_{(n,n-1)}$ ; если  $Y_{(n,n-1)}$  близко к 1, то два разложения на множители оценены подобно, малое значение  $D_n = \log_{10}[1 - Y_{(n,n-1)}]$  указывает, что текущая итерация метода произвела малые изменения, потому что последовательные разрешающие способности почти идентичны. Таким образом, логически следует завершить итерации гребневого метода в случае, когда  $D_n$  становится меньше, чем некоторое предварительно установленное значение  $D_0$ .

Типичная реализация исследуемого метода начинается с выбора начальных значений для  $X$  и  $Y$  коэффициентов модели, пусть это будут  $X_0$  и  $Y_0$ . Используя эти коэффициенты, данные и обычный МНК – оцениваем  $Z$ , например с  $Z_1, Z_1$ , по очереди. Затем, используя  $X_0$  получаем  $Y_1$ . Возникающая в результате тройка,  $(X_1, Y_1, Z_1)$  выражает конец первой итерации метода Harshman.

**2. Оценки гребневой регрессии.** Известно, что один из методов стабилизации дисперсии оценок параметров модели, в случае наличия мультиколлинеарности, гребневая регрессия. Однако, к сожалению, не всегда удастся управлять оценкой гребневых параметров, как хотелось бы. То есть, если выбрать некоторую оценочную гребневую функцию, основанную на уточнении в числовой стабильности, то не всегда понятно, какими статистическими свойствами эта оценочная функция обладает [1]. В этой связи, предлагается заменить  $T^1 X A$  на более устойчивую оценочную функцию, которая сохраняет некоторые тождественные статистические свойства.

Рассмотрим уравнение регрессии  $Y_{N \times 1} = X_{N \times R} b_{R \times 1} + e_{N \times 1}$  с заменой обычной оценки МНК –  $b$ , полученной из  $(X'X)^{-1} X'Y$ , более общей оценкой –  $\hat{\beta}_H = H^{-1} X'Y$ . Если числа обусловленности  $\hat{\beta}_H$  определены как

$$k \hat{\beta}_H = \|H\| \|H^{-1}\|, \quad (2)$$

где  $\|H\| = \sup_{a' a} (a' H' H a)^{1/2}$ ;  $k$  – коэффициент деформации,

то можно проверить, что  $k(\hat{\beta}_{MНК}) = l_1/l_R$ , где  $l_1, l_2, \dots, l_R$  – собственные значения информационной матрицы  $X'X$ . Однако, если  $H$  взято как обычная оценочная гребневая функция  $X'X + kI$ , для  $k > 0$ , то очевидно, что

$$k(\hat{\beta}_{гребн.}) = (1+k)/(l_1+k) \wedge l_1/l_R, \quad (3)$$

и эффект стабилизации понятен.

Аналогично, если обобщенная оценочная гребневая функция определена как

$$\hat{\beta}_{об.гребн.} = P(DI + K)^{-1} P', \quad (4)$$

где  $K = \text{diag}(k_1, k_2, \dots, k_R)$ ,  $P' T P = DI = \text{diag}(l_1, l_2, \dots, l_R)$  и  $P' P = I$ ,

то следует, что  $k(\hat{\beta}_{об.гребн.}) = \max_i \{1+k_i\} / \min_i \{1+k_i\}$  и целью является выбор такого фактора деформации  $k$ , чтобы  $k(\hat{\beta}_{гребн.}) \wedge k(\hat{\beta}_{MНК})$ .

Используя значение минимаксита, получим условия, при которых оценочная функция минимакса может быть выбрана для уточнения обусловленности. В случае, если  $\hat{\beta}_{MНК}$  уже является минимаксом относительно среднеквадратичной ошибки, предлагается использовать процедуру, которая позволит или улучшить обусловленность данных или уменьшить среднеквадратичную ошибку модели без ухудшения обусловленности. Даже, если известно, что выбор минимаксита как статистического критерия имеет ограничения, и использование оценочных гребневых функций приводит к некоторому смещению, данная процедура позволит сократить число итераций, требуемых для сходимости исследуемого метода. Однако не всегда удастся найти условие, улучшающее оценочную функцию минимакса. Даже если оценочная функция существует, уточнение в обусловленности может быть не достаточным для сохранения метода от некорректности.

Анализируя вышеупомянутые факты, предлагается использование следующей процедуры:

1) если число обусловленности  $T$  ниже некоторого (низкого) предварительно установленного

порога, то оценочная функция будет найдена, используя результаты, полученные в работе [4], что позволит уменьшить среднеквадратичную ошибку модели. Если минимаксисти возможно, то эта оценочная функция не будет ухудшать число обусловленности. Иначе – будет;

2) если число обусловленности  $T$  – выше некоторого (высокого) предварительно установленного порога, используется грубая стабилизация метода на этом шаге итерации;

3) если число обусловленности  $T$  находится между первым и вторым порогами, то внимание будет сфокусировано на уменьшении числа обусловленности. Конечно, если СИМЕ возможен, то минимаксисти также сохраняется.

На рис. 2 представлены полученные результаты, когда метод Harshman стабилизирован. Очевидно, что число итераций, потраченных в “болоте” было значительно уменьшено. В частности, на рис. 1 показано уменьшение количества итераций метода от 6500 до 300 итераций (сплошная линия – сигнал, пунктирная линия – первоначальный результат, и точечная линия – стабилизированный результат).

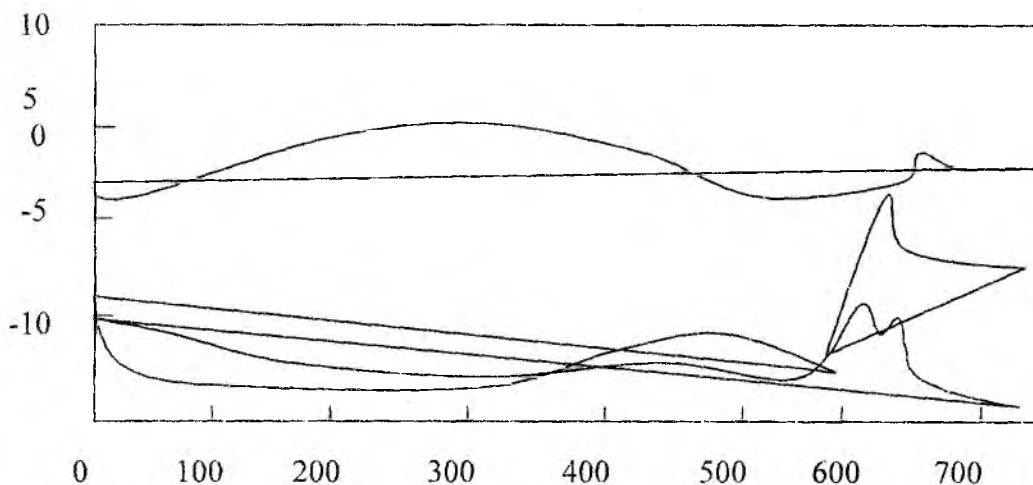


Рис. 1

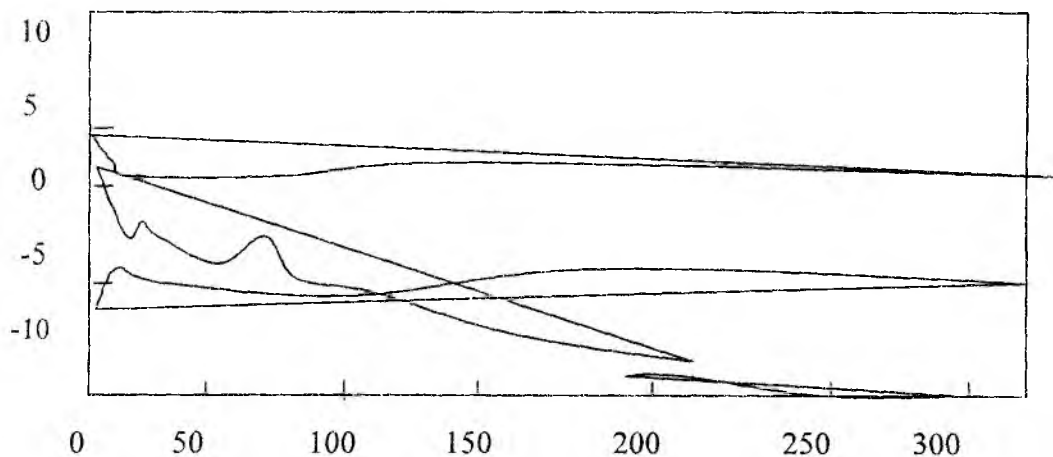


Рис. 2

Однако существует также множество других способов стабилизации МНК в случае наличия мультиколлинеарности. При этом можно ожидать, что накопление смещения оценок модели это часть цены, которую придется заплатить за использование процедуры гребневой регрессии.

3. Оценим адекватность статистических моделей, полученных на основе указанного итерационного метода. Заметим, что адекватность регрессионных моделей, полученных на базе МНК, зависит

от  $\sigma_{ocm}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 / (n-p)$  и дисперсии случайных возмущений  $\sigma_e^2$ .

Случайные величины  $\sigma_{ocm}^2$  и  $\sigma_e^2$  имеет  $\chi^2$  – распределение. Отношение двух случайных величин с распределением  $\chi^2$  имеет распределение Фишера ( $F$ ). Поэтому величина  $F = \sigma_{ocm}^2 / \sigma_e^2$  имеет  $F$ -распределение с  $n_{ocm}$  и  $n_e$  степенями свободы.

Оценку  $\sigma_e^2$  получаем из параллельных опытов. На практике получение величины  $\sigma_e^2$  сопряжено с трудностями, связанными с проведением планируемых опытов и получением независимых данных при фиксированном значении остальных независимых переменных.

В случае отсутствия возможности получения  $\sigma_e^2$  используют дисперсию относительно регрессии  $\sigma_R^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / \nu_R$ . Для ответа на вопрос насколько полученные точечные оценки отличаются от соответствующих им истинных значений используют доверительные интервалы. Ширина доверительных интервалов зависит от величины отношения

$$t_j = |\beta_j^* - b_j| / \sigma_e \sqrt{c_{jj}}, \quad (5)$$

где  $b_j$  – истинное значение коэффициентов модели;  $c_{jj}$  – диагональный элемент матрицы  $C = (X'X)^{-1}$ .

Для оценки адекватности модели целесообразно использовать проверку гипотез о значимости регрессионных коэффициентов, провести анализ доверительных интервалов для предсказанных значений зависимой переменной и исследовать остатки.

Проведем исследование устойчивости критериев проверки гипотез на адекватность моделей, полученных методами смещенного оценивания.

Введение параметра деформации  $k$  в выражение  $\beta^* = (X'X + kI)^{-1} X'Y$  приводит к смещению оценок и смещение их равно  $E(\beta^*) - \beta = -k(X'X + kI)^{-1} \beta$  [4]. Смещение зависит как от параметра  $k$ , так и от значений неизвестных коэффициентов  $\beta$ . Квадратичную ошибку оценок коэффициентов представим в виде

$$E[L_1^2] = \sum_{j=1}^p (\beta_j^* - \beta_j)^2 = \sigma^2 \sum_{j=1}^p (\lambda_j / (\lambda_j + k)^2) + \sum_{j=1}^p [\alpha_j^2 / (\lambda_j / k + 1)^2], \quad (6)$$

где  $\lambda_j$  – собственные числа матрицы  $X'X$ ;  $a = Vb$ , а  $V$  – ортогональная матрица, столбцы которой – собственные вектора  $X'X$ .

Заметим, что  $V'X'XV = \Lambda$ , где  $\Lambda$  – диагональная матрица с собственными числами на диагонали  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ . Из (6) видно, что с ростом параметра  $k$  сумма дисперсий оценок коэффициентов первого слагаемого убывает, а квадрат смещения оценок в виде второго слагаемого возрастает. Увеличение смещения приводит к увеличению значений  $\sigma_R^2$  и  $\sigma_{ocm}^2$ . Однако, корректность использования

$F$ -отношения не нарушается, т.к. и числитель и знаменатель распределены по закону  $\chi^2$  при условии нормальности распределения разностей  $(y_j - \hat{y})^2$  и  $(\hat{y}_j - \bar{y})^2$ . Таким образом, теоретически для смещенных оценок возможно использовать  $F$ -отношение для оценки адекватности модели. Однако это не означает, что модель можно использовать для прогнозирования и управления. Если размах величин, предсказуемых моделью, не слишком значительно превосходит величину случайной ошибки, модель не будет иметь никакой ценности, хотя и была получена удовлетворительная величина  $F$ , т.к. уравнение будет описывать только ошибки, связанные со смещением.

Изменение дисперсии ошибки модели за счет смещения оценок коэффициентов можно уменьшить за счет выбора оптимального значения  $k$ . Квадратичная ошибка  $E(L_1^2)$  будет иметь минимум при равенстве первого и второго слагаемых в (6). Исследования расчетного значения  $F$ -отношения в зависимости от параметра деформации  $k$ , показало, что с увеличением  $k$  значение  $F$ -критерия уменьшается. Это объясняется тем, что размах предсказываемых значений отклика растет быстрее, чем стандартная ошибка отклика. Исходя из анализа исследований, можно сделать вывод, что расчетное значение  $F$ -отношения среднего квадрата, обусловленного регрессией, и остаточной дисперсией должно не просто превышать выбранную процентную точку  $F$ -распределения, а превосходить в несколько раз, т.к. выбор оптимального значения  $k$  не всегда осуществим.

Если наблюдения независимы и имеют некоторое отличие от нормального распределения с коэффициентом асимметрии и эксцессом не равным нулю, необходимо аппроксимировать  $F$ -распределение распределением со скорректированными степенями свободы  $\nu_R$  и  $\nu_e$  [3]. В таких случаях необходимо иметь в виду, что такая коррекция возможна только при наличии достоверного эксцесса. Оценки эксцесса требуют большого числа наблюдений и крайне чувствительны к грубым наблюдениям и выбросам. Поэтому очень важен анализ остатков модели для оценки ее адекватности.

Результаты, описанные в данной статье, предполагают потенциальную переносимость методом Harshman серьезных проблем, связанных с тем, что истинные сигналы проявляют высоко некорректные коэффициенты корреляции.

**Список литературы:** 1. Casella G. Condition Numbers and Minimax Estimators. Journal of the American Statistical Association, 1995, V. 80, N. 391, 753-758. 2. Harshman R.A. How can I know if it's "real"? // A Catalog of Diagnostics for Use with Three-Mode Factor Analysis and Multidimensional Scaling, Research Methods for Multilinear Data Analysis, Edited by Law Snyder, Hattie and McDonald, New York: Praeger 1984. P. 566-591. 3. Mitchell B.C., Burdick D.S. An Empirical Comparison of Resolution Methods for Three-Way Arrays, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1993, V. 20. P.149 – 161. 4. Mitchell B.C., D. S. Burdick D.S. Slowly Converging Parafac Sequences: Swamps and Two-Factor Degeneracies, Journal of Chemometrics, 1994, V. 8. P. 155-168.

Поступила в редколлегию 31.07.2000

УДК 519.7:007.52

Н. С. ЛЕСНАЯ, В. Б. РЕПКА

### ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ВЫБОРУ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА СМЕЩЕННОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Выбор метода построения математических моделей процессов и объектов на сегодняшний день является достаточно сложной задачей, формализация которой связана с трудностями выбора процедуры оценивания коэффициентов модели, а также с анализом теоретических предпосылок и предположений в зависимости статистических характеристик исходных данных. Особенно сложно выбрать метод оценивания коэффициентов модели в условиях, когда исходные данные подвержены влиянию линейной зависимости между независимыми векторами. Для решения задач данного класса разработаны и успешно применяются методы смещенного оценивания, которые характеризуются в первую очередь высокой эффективностью и вычислительной простотой, но при этом имеют множество различных подходов к выбору их фактора деформации с пересекающимися областями эффективности, что затрудняет выбор оптимального метода с точки зрения точности, сложности и быстродействия.

На основе проведенного анализа существующих подходов к выбору наиболее эффективного метода смещенного оценивания параметров модели, в основе которых лежат математические модели оценки эффективности методов смещенного оценивания, анализ обобщенных критериев, основанных на мере рассеивания и индексе ошибки относительных среднеквадратичных критериев и др. [1-3] предлагается иной подход к решению данной проблемы. Указанные подходы подразумевают автоматический выбор метода оценивания и ориентированы на профессионализм эксперта, что значительно сужает область их применения. Интеллектуализация этого процесса позволит не только расширить область применения существующих подходов, повысить эффективность принятия решений в условиях неопределенности, а также упростить выбор метода построения математической модели процесса при высокой коррелируемости исходной информации.

Рассмотрим некоторое множество методов смещенного оценивания (табл. 1), принадлежащих к 4 типам: класс обычных гребневых оценок ( $E7, R_0, H$ ), сжатых оценок ( $JS$ ), обобщенных оценок ( $E1, E2m, E4_1, E4_3$ ) и оценок дробного ранга ( $FRN, ST, SG$ ).

Эффективность указанных методов смещенного оценивания зависит от выбора фактора деформации  $k$ ,  $\sigma^2$  – дисперсии помех, уровня мультиколлинеарности исходных данных  $\alpha = \frac{\delta}{p}$ , где

$$\delta = \frac{(p-1)}{1-r_{jl}} + \frac{1}{[1+(p-1)r_{jl}]}, r_{jl} - \text{коэффициент корреляции между } j \text{ и } l \text{ входными переменными;}$$

$p$  – количество входных переменных.

Оценку эффективности данных методов произведем по:

– критерию относительной среднеквадратичной погрешности, характеризующей эффективность метода относительно МНК:

$$E(L_1^2) = \frac{E[(\hat{\beta} - \beta)'(\hat{\beta} - \beta)]}{E[(\beta^* - \beta)'(\beta^* - \beta)]},$$

где  $\hat{\beta}^*$  и  $\beta^*$  – оценки и истинное значение коэффициентов по методу МНК;  $\hat{\beta}$  и  $\beta$  – оценки и истинное значение коэффициентов по методу смещенного оценивания;

Таблица 1

Шифр метода	Название алгоритмов
Алгоритмы обычного гребневого оценивания	
E7	Итеративная оценка с выбором фактора деформации $(k_{j-1} - k_j) / k_j \leq \delta$
R <sub>0</sub>	Метод McDonald с выбором фактора деформации так, чтобы $\hat{\beta}_k \hat{\beta} = W$ , где $W = \hat{\beta}' \hat{\beta} - \sigma^2 \sum_{i=1}^p \lambda_j^{-1}$ .
H	Метод Hoerl с выбором фактора деформации $k_j = \sigma^2 / \beta_j^2$
Алгоритмы обобщенного гребневого оценивания	
E1	Метод Hammerle с выбором фактора деформации $k$ – диагональная матрица с неотрицательными диагональными элементами $k_j = \frac{\sigma^2}{\lambda_j \beta_j^2}$ .
E2m	Метод Hammerle с наложением ограничений на возрастание среднеквадратичной ошибки на $m$ %
E4 <sub>1</sub>	Метод Аллена с выбором фактора деформации $\hat{M}_j = \beta_j^2 [(v_j - l + e_{j(0)})^2]$ .
E4 <sub>3</sub>	Метод Аллена с выбором фактора деформации $\hat{M}_j = \beta_j^2 [(v_j l)^2]$ .
Алгоритмы сжатого оценивания	
JS	Метод James and Stein с выбором фактора деформации $a(\lambda) = D^{-1/2} p' (1 - \frac{cQ(y)}{\ g\ ^2}) g$
Алгоритмы дробного ранга	
FRN	Метод Фейербразена в котором начальное значение ранга $r_0$ выбирается из условия $\max_r \sum_{j=r+1}^p (1 - \tau_j^2) \lambda_j$ , если среди этих сумм есть положительные, иначе $r_0 = p-1$ .
ST	Метод Стейна с выбором фактора деформации $l = \max \left( 0, 1 - \frac{p-2}{n-p+2} \cdot \frac{1-R^2}{R^2} \right)$ , где $R^2$ – коэффициент множественной корреляции.
SG	Метод Смита-Гольдстейна с выбором фактора сжатия вида: $l = 1 - \frac{c}{\sum_{j=1}^p z_j^2}$ , где $z$ – определяется при помощи $z = T'Y$ ; $c$ выбирается из условия $\lambda_{\min} > \frac{c+4}{2 \sum_{i=1}^p \lambda_i^{-2}}$ .

– по критерию, характеризующему дисперсию оценок коэффициентов модели

$$E(L_2^2) = E[(\hat{\beta} - E(\hat{\beta}))(\hat{\beta} - E(\hat{\beta}))'];$$

– по критерию, характеризующему смещение оценок относительно моделируемых истинных

значений оценок  $E(L_3^2) = (E(\hat{\beta}) - \beta)'(E(\hat{\beta}) - \beta)$ ;

– по критерию среднеквадратичной ошибки модели  $E(L_4^2) = E \left[ \left( \hat{\beta} - \beta \right)' \left( \hat{\beta} - \beta \right) \right]$ ;

– по критерию максимальной абсолютной координатной ошибки метода

$$E(L_5^2) = \max_j \left| \hat{\beta}_j - \beta_j \right|^2 ;$$

– по критерию максимальной координатной относительной ошибки метода

$$E(L_6^2) = \max_j \left| \frac{\hat{\beta}_j - \beta_j}{\beta_j} \right|^2 .$$

Рассмотрим задачу классификации методов смещенного оценивания по указанному набору характеристик, используя аппарат нейронных сетей (НС).

При практической работе с НС, как правило, приходится экспериментировать с большим числом различных сетей, порой обучая каждую из них по несколько раз и сравнивая полученные результаты. Главным показателем качества результата является контрольная ошибка [4]. При этом, в соответствии с общенаучным принципом, согласно которому при прочих равных следует предпочесть более простую модель, из двух сетей с приблизительно равными ошибками контроля имеет смысл выбрать ту, которая меньше.

В связи с этим, была промоделирована работа следующих типов НС, применяемых на сегодняшний день для решения задачи классификации с соответствующими им алгоритмами обучения: многослойный перцептрон, сеть встречного распространения, вероятностная нейронная сеть (ВНС), сеть радиальной базисной функции, самоорганизующиеся карты признаков Кохонена (или НС Кохонена). Наилучший результат по показателю контрольной ошибки с поправкой на размер сети был получен вероятностной НС.

Рассмотрим решение задачи классификации выше указанных методов смещенного оценивания коэффициентов модели, используя ВНС. Этот тип сети имеет алгоритм обучения "с учителем". Для ВНС необходима обучающая выборка, которая включает объекты, имеющие набор характеристик и известный класс принадлежности каждого объекта к одному из классов. Вид НС, имеющей 11 входных характеристик ( $X_1-X_{11}$ ) и 11 классов выше указанных алгоритмов смещенного оценивания представлен на рис. 1.

Входные характеристики методов смещенного оценивания:

$X_1$  – название класса методов смещенного оценивания, к которому принадлежит алгоритм;

$X_2$  – возможность нахождения оптимального значения параметра деформации, минимизирующего квадратичное отклонение;

$X_3$  – достижение минимума дисперсии и смещения оцениваемых коэффициентов модели при высокой степени мультиколлинеарности ( $\alpha = 1, 2, 5, 10$ ) входных данных процесса;

$X_4$  – достижение минимума дисперсии и смещения коэффициентов модели по алгоритму при средней степени мультиколлинеарности ( $\alpha = 50$ ) входных данных процесса;

$X_5$  – достижение минимума дисперсии и смещения коэффициентов модели по алгоритму при низкой степени мультиколлинеарности ( $\alpha = 100$  и выше) входных данных процесса;

$X_6$  – достижение минимума дисперсии и смещения коэффициентов модели по алгоритму при высокой степени дисперсии помех ( $\alpha = 1, 2, 5, 10$ ) входных данных процесса;

$X_7$  – достижение минимума дисперсии и смещения коэффициентов модели по алгоритму при средней степени дисперсии помех ( $\alpha = 50$ ) входных данных процесса;

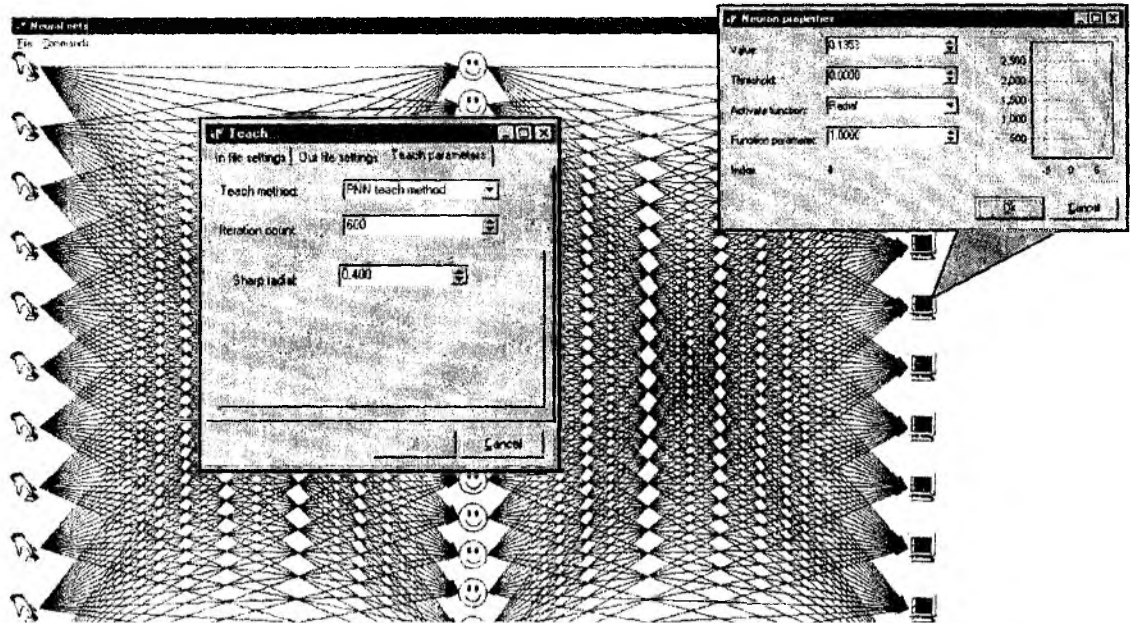


Рис. 1

$X_8$  – достижение минимума дисперсии и смещения коэффициентов модели по алгоритму при низкой степени дисперсии помех ( $\alpha = 100$  и выше) входных данных процесса;

$X_9$  – для итерационных и последовательных методов смещенного оценивания показатель, характеризующий степень сходимости алгоритма;

$X_{10}$  – точность метода, характеризующая совокупностью описанных выше критериев;

$X_{11}$  – популярность использования метода (вычислительная сложность, наличие в ППП, частота встречаемости в литературе).

После обучения и тестирования сети контрольная ошибка составила всего 3 %, то есть, некоторые алгоритмы были отнесены не к "своим" классам. Например, алгоритм  $R_0$  был отнесен к алгоритму E7. Проанализировав полученную ситуацию, можно заключить, что данные алгоритмы можно объединить в один класс, поскольку они имеют сходные характеристики и для исследователя не существует принципиальной разницы, каким из этих алгоритмов воспользоваться.

Таким образом, с помощью вероятностной НС была проверена возможность классификации указанных методов по приведенным отличительным характеристикам. Но поскольку многие методы смещенного оценивания можно объединить в гораздо меньшее количество классов, предлагается использование иного типа НС, которая бы дала возможность по имеющимся входным характеристикам самостоятельно формировать классы, выявляя саму структуру данных, в частности НС Кохонена.

На рис. 2 представлен фрагмент НС Кохонена, которая имеет 11 входных нейронов по количеству входных характеристик. Эти характеристики – те же, что и в вероятностной НС. Для обучения были применены метод Гаусса и метод выпуклой комбинации [5]. После настройки параметров НС и ее обучения на основании выше указанных характеристик ( $X_1$ - $X_{11}$ ) сеть Кохонена объединила методы смещенного оценивания в 4 класса: первый – E7,  $R_0$ , E1; второй – E2M, E4, JS, FRN, ST, SG; третий – H; четвертый – E43.

Контрольная ошибка данной сети составила также 3 %. Проанализировав результаты, выданные НС Кохонена, можно сделать заключения, что по данному набору входных характеристик методы смещенного оценивания можно разделить на четыре непересекающихся класса. Для дальнейшей классификации описываемых методов смещенного оценивания необходим иной набор входных характеристик, который бы включал такие особенности каждого метода, на основании которых можно было четко разграничить каждый отдельный метод.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что качество классификации методов смещенного оценивания параметров модели существенно зависит от многих факторов, как

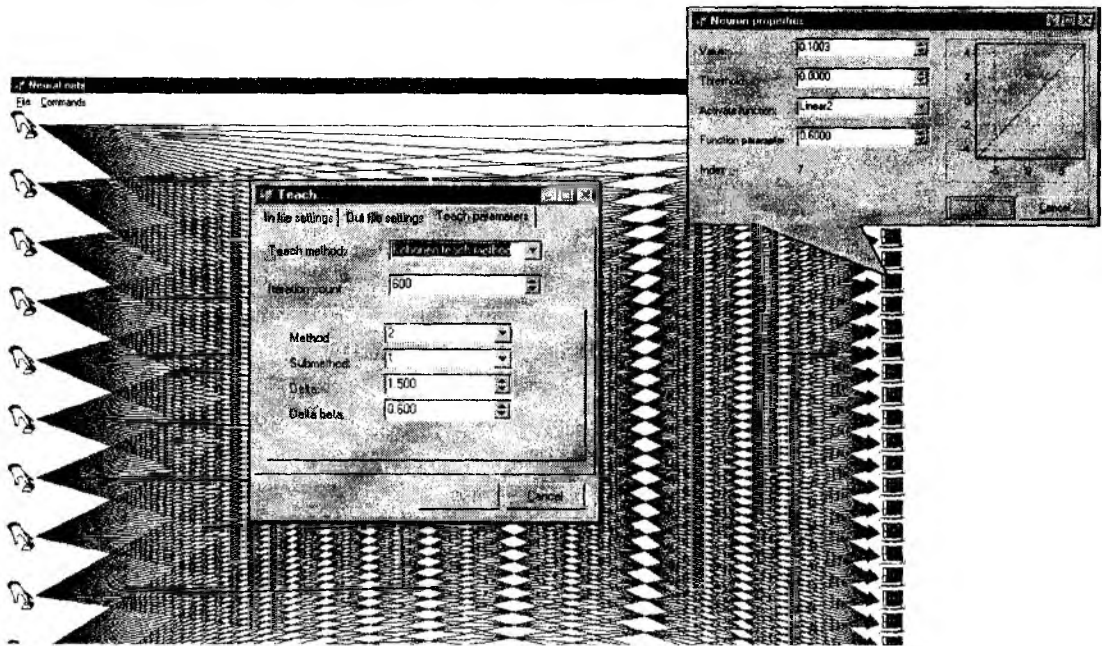
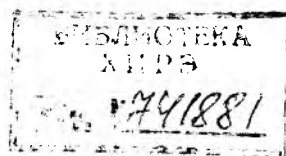


Рис. 2

то: выбора типа нейронной сети, способа ее обучения, качества и объема обучающей выборки. В этой связи промоделирована работа целого ряда архитектур НС, на основании минимальной контрольной ошибки выбрана вероятностная НС, для которой была составлена в качестве «учителя» обучающая выборка, включающая приведенные в статье одиннадцать характеристик и соответствующие этим характеристикам методы смещенного оценивания. А также НС Кохонена, которая самостоятельно выявила закономерности в предъявленных ей данных и сформировала четыре выходных класса. Таким образом, можно заключить, что предложенный нейросетевой подход к выбору наиболее эффективного метода смещенного оценивания параметров модели позволит упростить и ускорить процесс построения математической модели процесса при высокой коррелируемости исходной информации.

**Список литературы:** 1. Hoerl A.E., Kennard R.W. Ridge regression. Encyclopedia of statistical sciences. Vol. 8. New York: Willey, 1988. 2. Шамина Т.Б. Сравнительный анализ качественных показателей методов смещенного оценивания // Системный анализ, управление и информационные технологии: Вестник Харьковского государственного политехнического университета. 1999. №71. С.181-185. 3. Spiess M., Hamerle A. A comparison of different methods for the estimation of regression models with correlated binary responses // Computational Statistics and Data Analysis. 2000. Vol. 33, №4. P. 439-455. 4. Горбань А., Россиев Д. Нейронные сети на персональном компьютере. Новосибирск: Наука, 1996, 276 с. 5. Kohonen T. The Self-Organizing Maps (2-nd edition). New-York: Springer, 1997.

Поступила в редколлегию 8.06.2000



УДК 519.711

*В. И. КАУК, В. М. ЛЕВЫКИН, С. Ф. ЧАЛЫЙ,*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАДИГМЫ ЭВОЛЮЦИОННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ СОЗДАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Проектирование сложных информационных систем и их элементов является длительным процессом, связанным с большими материальными и трудовыми затратами, причем сам процесс проектирования требует четкой взаимосвязи и согласования всех разрабатываемых элементов. Задающим элементом всего процесса проектирования является функциональная структура системы, определяющая все множество функций, реализуемых системой. Для ее реализации создается соответствующее обеспечение, в частности функциональное программное обеспечение (ФПО).

ФПО информационной системы в процессе ее создания и эксплуатации претерпевает революционные и эволюционные изменения. Революционные изменения радикально преобразуют ФПО, однако, при правильном проектировании системы, потребность в них возникает достаточно редко. Основной объем затрат приходится, как правило, на эволюционные изменения. Очевидно, что эволюционные изменения ФПО можно естественным образом описать с помощью методов эволюционных вычислений.

### **1. Эволюционные вычисления**

Эволюционные вычисления возникли на основе исследований в области искусственного интеллекта. Эволюционные вычисления развиваются по следующим направлениям:

- генетические алгоритмы;
- эволюционные стратегии;
- системы классификации;
- генетическое программирование.

В соответствии с задачей создания и эволюции ФПО информационной системы среди этих направлений целесообразно выделить системы классификации и генетическое программирование.

Системы классификации основаны на наборе правил для машинного обучения и классификации. Каждое правило описывает некоторую ситуацию и связанное с ней действие. В процессе эволюции формируется такое множество правил, которое позволяет выполнять наилучшие действия для некоторого множества ситуаций во внешней среде.

Метод генетического программирования (ГП) разработан Дж. Коца (J. R. Koza) в 1992 году и основан на использовании эволюционных алгоритмов в области создания прикладных программ. Эволюционный алгоритм представляет собой оптимизационный метод, основанный на эволюции популяции индивидуумов. Каждый индивидуум содержит набор генов и характеризуется приспособленностью – многомерной функцией ее генов. Набор генов обычно описывается в виде символьных строк фиксированной длины. В процессе моделирования эволюции выполняется максимизация функции приспособленности с помощью многократного выполнения операторов отбора, рекомбинации («кроссинговера») и мутации геномов особей. На каждом шаге эволюции происходит отбор большинства (но не всех) особей с высоким значением функции приспособленности и, таким образом, в целом качество популяции особей на каждом шаге возрастает [3].

В области ГП объекты, из которых состоит популяция, представляют собой не строки фиксированной длины, кодирующие возможные решения проблемы, а программы, которые после своего выполнения являются кандидатами на решение проблемы. При этом для ГП программа представляется не просто как набор строк кода, а в виде дерева синтаксического разбора и соответствующей структуры данных. Фактически, программа в ГП уже имеет двухмерный характер.

Такая программа состоит из элементов функционального и терминального наборов. Функциональный набор представляет собой набор операторов, используемых в программе, и отображает внутренние вершины дерева синтаксического разбора. Терминальный набор соответствует терминаль-

ным вершинам дерева синтаксического разбора, например, переменным, константам или функциям без аргументов.

## 2. Парадигма эволюционной классификации

Системы классификации на основе эволюционных методов впервые были представлены в работе [1] в качестве примера обучающихся систем, которые не зависят от предметной области. Каждый классификатор в такой системе представляет собой правило вида «условие-действие» с некоторым набором связанных параметров. Условие классификатора является троичной строкой, элементы которой принадлежат множеству  $\{0, 1, \#\}$ . Элементы действия принадлежат множеству  $\{0, 1\}$ . Несколько строк условий в классификаторе могут объединяться логическим «И». Возможно также использование префикса «НЕТ» для указания того факта, что классификатор сработает только в том случае, когда ни одно из его условий не выполнено. Каждый классификатор имеет параметр силы, который является системной оценкой полезности классификатора.

Система классификации реализует три основных функции [2]:

- генерация классификаторов;
- оценка классификаторов;
- использование классификаторов при принятии решений при организации взаимодействия с внешней средой.

Соответственно, система классификации включает в себя три основных подсистемы:

- исполняющую подсистему;
- подсистему обучения;
- подсистему создания новых правил.

**Исполнительная подсистема** состоит из четырех частей:

- входного интерфейса, который генерирует сообщения в форме двоичных строк, характеризующих обнаруженные свойства внешней среды;
- списка сообщений, который сохраняет сообщения, генерируемые входным интерфейсом и классификаторами;
- списка классификаторов, который обрабатывает список сообщений и который может добавлять новые сообщения к этому списку;
- выходной интерфейс, который преобразует выходные сообщения из списка в некоторые действия во внешней среде;

Обобщенный алгоритм работы классификационной системы включает в себя следующие шаги:

1. Дополнение списка сообщениями, генерируемыми входной подсистемой.
2. Сопоставление каждого сообщения в списке с частью «условие» каждого классификатора, причем элемент # может соответствовать как 0, так и 1 во входном сообщении.
3. В том случае, если входное сообщение совпадет с частью «условие» классификатора, выполняется генерация выходного сообщения с помощью части «действие» классификатора. Классификаторы конкурируют друг с другом за право внести выходное сообщение в список сообщений, и только лишь часть сработавших классификаторов занесет в список свое выходное сообщение.
4. Замена содержимого списка сообщений в соответствии с п.3.
5. Использование выходного интерфейса для преобразования выходных сообщений в действия системы.
6. Назначение вознаграждения классификаторам в зависимости от успешности действий системы во внешней среде.
7. Переход к шагу 1.

Следует отметить, что система классификации обладает вычислительной полнотой. Она может выполнить любые вычислимые функции.

**Подсистема обучения** обеспечивает адаптивные свойства системы классификации. Адаптация выполняется путем корректировки параметра силы классификатора на основе вознаграждения, которое система получает в результате ее действий. В данном случае сила классификатора определяет собой награду, которую получит система в том случае, если она выберет этот классификатор из подмножества классификаторов с выполнившимися входными условиями, и позволит этому классификатору поместить в список выходное сообщение.

Выбор классификаторов, для которых выполнены входные сообщения, выполняется по соревновательному принципу. Каждый классификатор, для которого совпало условие, делает заявку на выполнение. Только классификаторы с наивысшим значением заявки могут выполняться. Значение заявки зависит от двух факторов: силы классификатора и его специфика. Специфика определяется числом нулей и единиц в условии классификатора. Специфику можно рассматривать как меру пригодности классификатора для определенного набора сообщений. Соответственно, величина заявки  $Z$  определяется как:

$$Z = k * S * P,$$

где  $k$  – универсальная константа для всех классификаторов,  $k$  лежит в интервале  $(0, 1)$ ;  $S$  – сила классификатора;  $P$  – специфика классификатора.

Следует отметить, что сила классификатора уменьшается на величину заявки в том случае, если классификатор получает право поместить выходное сообщение в список сообщений.

**Подсистема создания новых правил** позволяет генерировать новые правила на основе генетического алгоритма. В данной подсистеме сила классификатора используется в качестве значения приспособленности классификатора. В процессе создания новых правил выполняются следующие основные шаги:

- отбор классификаторов для создания новой популяции с вероятностью, пропорциональной силе каждого классификатора;
- применение генетических операторов – воспроизводства, кроссинговера и мутации к классификаторам из отобранного множества;
- отбор лучших из получившихся классификаторов в новую популяцию, обычно с вероятностью пропорциональной их силе.

### 3. Применение парадигмы эволюционной классификации при создании ФПО

Функциональное ПО информационных систем обладает рядом особенностей, обеспечивающих использование систем классификации при его создании и развитии. В общем случае данное программное обеспечение включает в себя элементы интерфейса с пользователем, элементы интерфейса с данными и модули, реализующие логику работы прикладных программ. Соответственно прикладные программы реализуют функции:

- взаимодействия с хранилищами (базами) данных;
- обработки информации в соответствии с логикой работы программ;
- предоставления информации пользователю;
- обработки реакции пользователя в соответствии с логикой работы прикладных программ.

В процессе взаимодействия с пользователем в прикладной программе осуществляется распознавание ситуации и формирование наиболее рациональных действий. Аналогичным образом в общем случае осуществляется и доступ к данным. Эволюция программного обеспечения постепенно приводит к более точному распознаванию ситуации и к более адекватным действиям в соответствующей ситуации. При этом оценка функционирования программы на каждом шаге развития ПО осуществляется пользователем, т.е. из внешней, по отношению к прикладной программе среды. В соответствии с результатами этой оценки выполняется соответствующая корректировка программного обеспечения.

Таким образом, парадигма систем классификации позволяет описать как процесс функционирования прикладных программ, так и процесс их развития.

Применение данной парадигмы при разработке и эволюции ПО связано с трудностями восприятия и модификации человеком алгоритмов, которые представлены в виде набора правил. Следовательно, данный подход предполагает автоматизацию разработки функционального ПО на основе эволюционных методов и алгоритмов.

Автоматизированное создание программ на основе эволюционных алгоритмов является темой исследования в области генетического программирования.

Традиционно исследования в области генетического программирования проводятся с использованием функциональных языков программирования (Lisp, Schema). В то же время при создании при-

кладного ПО информационных систем, которое работает в интерактивном режиме, взаимодействуя с пользователем и с внешней средой, используются алгоритмические языки программирования. Автоматизированное построение прикладных программ на основе таких языков легко реализуется в соответствии с подходом, принятым в системах классификации:

- программа представляется в виде набора правил (классификаторов) «условие-действие»;
- с каждым из правил- классификаторов связывается переменная – значение силы правила (данное значение вычисляется отдельной процедурой);
- условие каждого классификатора формируется в виде последовательности конструкций «если» соответствующего языка программирования;
- действие каждого классификатора формируется в виде последовательности процедур, написанных на соответствующем языке программирования;
- в процессе «выведения» рабочего варианта программы, а также в процессе ее эволюции правила конкурируют за возможность исполнения; арбитраж выполняется отдельной процедурой;
- величина силы правила после его выполнения снижается на величину заявки, последняя вычисляется в соответствии с подходом, принятым в системах эволюционной классификации.

Таким образом, применение парадигмы систем классификации при разработке ФПО позволяет, с одной стороны, создавать программное обеспечение на основе эволюционных методов, а с другой – выполнять обучение прикладных программ в процессе их эксплуатации.

**Список литературы:** 1. *Holland, J.* Adaption in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, 1975. 2. Kovacs, Tim. Evolving Optimal Populations with XCS Classifier Systems. MSc Advanced Computer Science, September 1996, University of Birmingham, Birmingham U.K. 3. В.М.Левыкин Концепция создания распределенных информационных управляющих систем//АСУ и приборы автоматки. 1998. Вып. 108. С. 2-41.

*Поступила в редколлегию 28.08.2000*

УДК 681.007.05/618.3.019

В. А. ЛЮБЧЕНКО, Е. П. ПУТЯТИН

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ НОРМАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВЫ

В системах технического зрения одной из важнейших задач распознавания является нормализация геометрических искажений. При небольших расстояниях камеры до объекта можно допустить, что входное изображение искажено действием только аффинной группы. Однако ряд технических задач выходит за рамки аффинной группы (аэрофотосъемка, видеосъемка поверхности Земли и т.д.). Для этих задач используют математические модели, которые основываются на проективных преобразованиях.

Нормализация полной проективной группы преобразований достаточно трудоемкая задача, поэтому рассмотрим преобразования, которые она в себе содержит.

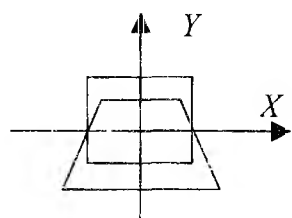


Рис. 1

Известно, что аффинное преобразование является подгруппой проективной группы и, следовательно, все подгруппы аффинной группы являются также подгруппами проективной группы (поворот, косой сдвиг, масштаб). Поэтому представляют особый интерес простейшие подгруппы проективной группы, которые не являются подгруппами аффинной группы. Такими преобразованиями являются преобразования перспективы, в частности, параболическая гомотетия относительно оси ординат  $\Pi_y(1)$  [1]. На рис. 1 представлен частный случай этого преобразования.

Формулы связи координат имеют вид  $X = \frac{x}{\lambda y + 1}$ ,  $Y = \frac{y}{\lambda y + 1}$ , где  $\lambda$  – параметр преобразования,  $x, y$  – координаты квадрата (эталона).

$$\text{Пусть } A = \begin{pmatrix} \frac{\partial X}{\partial x} & \frac{\partial X}{\partial y} \\ \frac{\partial Y}{\partial x} & \frac{\partial Y}{\partial y} \end{pmatrix}.$$

Известно [1], что  $\det A$  дает информацию о преобразовании каждой точки изображения, а  $|\det A|$  – коэффициент сжатия этой точки:

$$\det A = \frac{1}{(\lambda y + 1)^3}.$$

Если входные  $B(x, y)$  и эталонные  $B_0(x, y)$  изображения отличаются только преобразованиями перспективы, которые не выводят изображения за пределы поля зрения  $D$ , то для преобразования  $\Pi_y(1)$  выполняется условие

$$\iint_D B(x, y) \partial x \partial y = \iint_D \frac{B_0(x, y) \partial x \partial y}{(\lambda y + 1)^3}.$$

Следящий функционал типа

$$\Phi(B) = \iint_D B(x, y) \partial x \partial y - \iint_D \frac{B_0(x, y) \partial x \partial y}{(\lambda y + 1)^3}, \quad (1)$$

можно использовать для нормализации перспективы.

Следует отметить, что функционал  $\Phi(B)$  для эталонных преобразований равен нулю.

Перейдем от эталонного изображения к ограничениям на прямые  $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n$ , где  $\ell_1$  – прямая проходящая параллельно оси абсцисс через нижнюю точку изображения,  $\ell_n$  – через верхнюю точку

изображения и найдем их образы на входном изображении  $l'_1, l'_2, \dots, l'_n$ . Поскольку  $\det A$  преобразования  $\Pi_y(1)$  не зависит от абсциссы, то все точки некоторой линии  $l_i$  имеют одинаковый коэффициент сжатия по отношению к ее образу  $l'_i$ , т.е. по прямой  $l_i$  осуществляется сжатие с коэффициентом  $k_i$ . Следовательно, семейство прямых  $l_1, l_2, \dots, l_n$  отличаются от прямых  $l'_1, l'_2, \dots, l'_n$  коэффициентами  $k_1, k_2, \dots, k_n$  соответственно. Очевидно, что  $k_1 \leq k_2 \leq \dots \leq k_n$  или  $k_1 \geq k_2 \geq \dots \geq k_n$ .

Рассмотрим функцию

$$f(\lambda y) = \left| \frac{1}{(\lambda y + 1)^3} \right|.$$

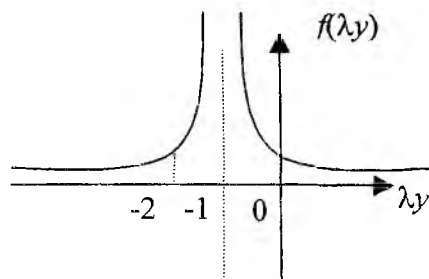


Рис. 2

График этой функции представлен на рис. 2.

Учитывая рис. 2 и геометрический смысл модуля детерминанта, соответствующего преобразованию  $\Pi_y(1)$ , можно сделать следующие выводы.

1. Изображения, находящиеся на участках  $\lambda\psi \in (-\infty; -2)$  и  $(0; \infty)$ , будут уменьшаться. На рис. 3: исходное изображение – фигура ABCD, а преобразованное с параметром  $\lambda=0,5$  – фигура A'B'C'D' (участок  $\lambda\psi \in (-\infty; -2)$ ). На рис. 5: исходное изображение – фигура ABEF, а преобразованное с параметром  $\lambda=0,5$  – фигура A'B'EF (участок  $\lambda\psi \in (0; \infty)$ ).

2. Изображения, находящиеся на участках  $\lambda\psi \in (-2; -1)$  и  $(-1; 0)$  – увеличиваются в размерах. На рис. 4: исходное изображение фигура ABCD, а преобразованное с параметром  $\lambda=0,5$  – фигура A'B'C'D'. На рис. 5: исходное изображение – фигура EFC D, а преобразованное с параметром  $\lambda=0,5$  – фигура EFC'D'.

3. На прямой  $\lambda\psi = -1$  преобразование не существует.

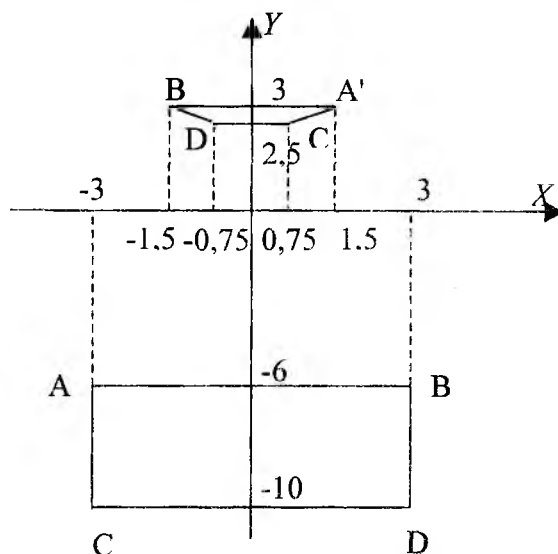


Рис. 3

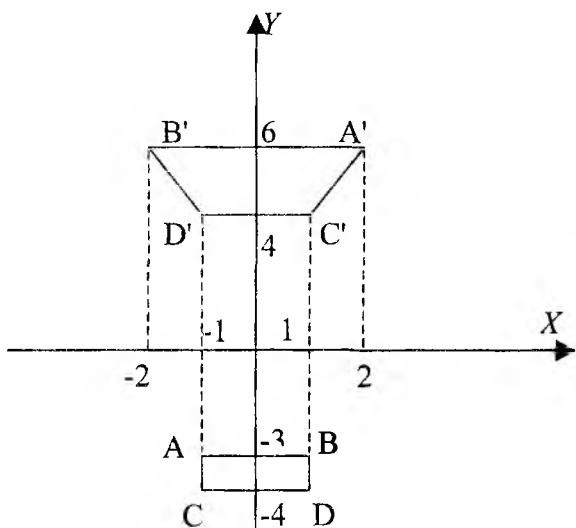


Рис. 4

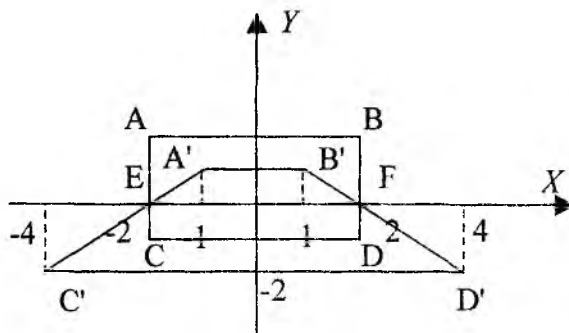


Рис. 5

4. На прямой  $\lambda\psi = -2$  изображение не изменит своих размеров. На рис. 4: исходное изображение отрезок CD, а преобразованное с параметром  $\lambda=0,5$  – отрезок C'D'.

5. На прямой  $\lambda\psi = 0$  изображение также не изменит своих размеров и останется неподвижным. На рис. 5 исходное изображение отрезок EF; преобразованное с параметром  $\lambda=0,5$  – тот же отрезок EF, т.е. имеет место преобразование само в себя.

6. Преобразование определяется началом координат, параметром  $\lambda$ , осью преобразования.

Поскольку параметр перспективы зависит от расположения относительно центра преобразования, представляет интерес изучение влияния смещения изображений на вид преобразования. Предположим, что все преобразования рассматриваются в области, где они обратимы.

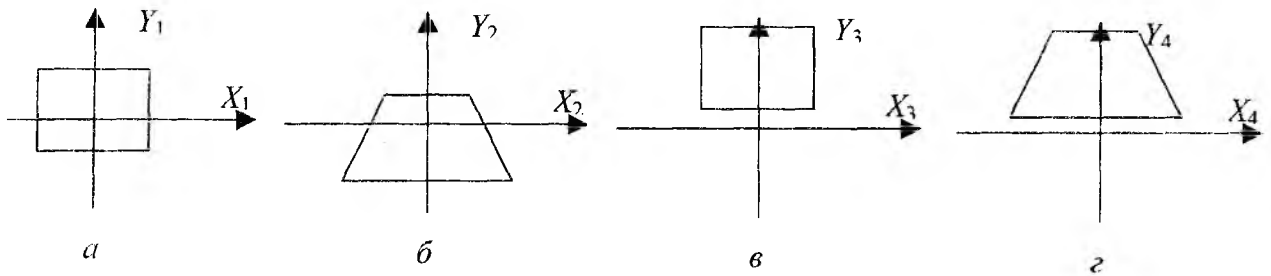


Рис. 6

Пусть изображения, представленные на рис. 6, а и б связаны формулами:

$$x_2 = \frac{x_1}{\lambda y_1 + 1} \quad y_2 = \frac{y_1}{\lambda y_1 + 1}.$$

Установим влияние перемещения на вид преобразования.

Сместим изображение в) вдоль оси преобразования на величину  $m$ , а изображение г) – на величину  $n$  (рис. 6) по отношению к изображениям а) и б) соответственно.

Тогда координаты изображений а) и в) имеют зависимость  $x_3 = x_1; y_3 = y_1 + m$ , а изображения б) и г) –  $x_4 = x_2; y_4 = y_2 + n$ .

Зависимость между координатами  $(x_4, y_4)$  и  $(x_3, y_3)$  следующая:

$$y_4 = y_2 + n = \frac{y_1}{\lambda y_1 + 1} + n = \frac{y_1 + \lambda y_1 n + n}{\lambda y_1 + 1}; \quad x_4 = x_2 = \frac{x_1}{\lambda y_1 + 1}$$

$$y_3 = y_1 + m \Rightarrow y_1 = y_2 - m; \quad y_4 = \frac{y_3 - m + \lambda(y_3 - m)n + n}{\lambda(y_3 - m) + 1} = \frac{y_3(1 + \lambda n) - m + \lambda mn + n}{\lambda y_3 + 1 - \lambda m}$$

$$x_4 = \frac{x_3}{\lambda(y_3 - m) + 1} = \frac{x_3}{\lambda y_3 + 1 - \lambda m}.$$

Следовательно, изображения рис. 6, в, г связаны преобразованием, матрица которого имеет вид:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \lambda & -m - n + \lambda mn \\ 0 & \lambda & 1 - \lambda m \end{pmatrix}.$$

$$\text{Если } \lambda = \frac{n-m}{nm}, \text{ то } \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \lambda & 0 \\ 0 & \lambda & 1 - \lambda m \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{n}{m} & 0 \\ 0 & \frac{n-m}{nm} & \frac{m}{n} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} \frac{n}{m} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{n^2}{m^2} & 0 \\ 0 & \frac{n-m}{nm} & 1 \end{pmatrix}$$

Обозначим  $\frac{n}{m} = a$ ;  $\frac{n-m}{nm} = h$ , т.е. матрица примет вид

$$\begin{pmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & a^2 & 0 \\ 0 & k & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Заметим, что полученная матрица есть элемент группы, который может быть разложен на комбинацию преобразований сжатия  $D(a, a^2)$  и перспективы  $P_y(k)$ . Следовательно, можно выполнить последовательную нормализацию, основываясь на разложении матрицы.

**Алгоритм 1**

1. Для выбранной прямой эталонного изображения, параллельной оси абсцисс, найти соответствующую прямую входного изображения. Пусть они связаны коэффициентом сжатия  $a$ .
  2. Совместить оси абсцисс с этими прямыми для входного и эталонного изображений соответственно, тем самым осуществить переход к преобразованию с матрицей (2).
  3. Нормализовать сжатие путем воздействия на изображение преобразованием  $D(a, a^2)$ .
  4. Функционалом вида (1) нормализовать перспективу.
- Пусть теперь известна координата центра преобразования для ординат и не известна для абсцисс. Пусть изображения, представленные на рис. 7, а и рис. 7, б, связаны формулами:

$$x_2 = \frac{x_1}{\lambda y_1 + 1}, \quad y_2 = \frac{y_1}{\lambda y_1 + 1}.$$

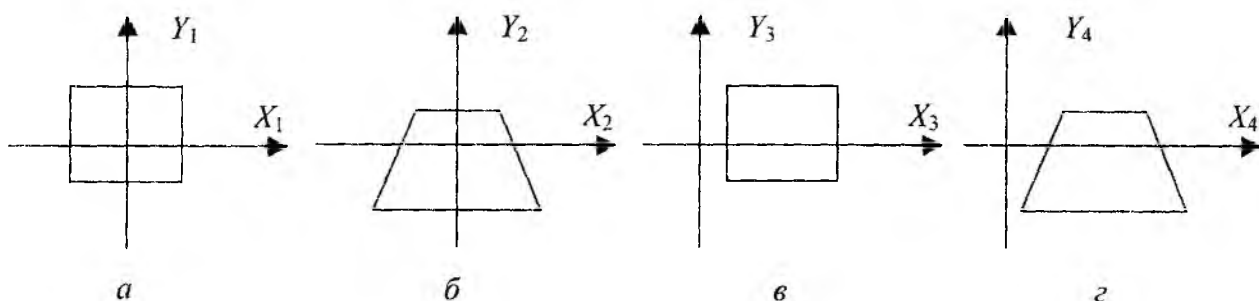


Рис. 7

Установим влияние перемещения вдоль оси абсцисс на вид преобразования. Предположим, что все преобразования рассматриваются в области, где они обратимы.

Пусть изображение в) смещено вдоль оси преобразования на величину  $m$ , а изображение г) – на величину  $n$  (рис. 7) по отношению к изображениям а) и б) соответственно.

Пусть изображение в) смещено вдоль оси абсциссы на некоторую величину  $m$ , а изображение г) – на величину  $n$  по отношению к изображениям а) и б) соответственно. (рис. 7). Следовательно, координаты изображений а) и в) имеют зависимость:  $x_3 = x_1 + m$ ;  $y_3 = y_1$ , а изображения б) и г) –  $x_4 = x_2 + n$ ;  $y_4 = y_2$ . Тогда зависимость между координатами  $(x_4, y_4)$  и  $(x_3, y_3)$  следующая:

$$x_1 = \frac{x_4 - \lambda y_4 m + (m - n)}{1 - \lambda y_1}, \quad y_3 = \frac{y_4}{1 - \lambda y_1}.$$

Преобразованию, связывающему изображения представленные на рис. 3 в) и рис. 3 г), соответ-

ствует матрица  $K = \begin{pmatrix} 1 & -\lambda m & m - n \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 \end{pmatrix}.$

Если  $m=n$ , то

$$K = \begin{pmatrix} 1 & -\lambda m & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 \end{pmatrix} = PY = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -\lambda m & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = YP = \begin{pmatrix} 1 & -\lambda m & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\lambda & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $P$  – матрица параболической гомологии,  $Y$  – косо́й сдвиг вдоль оси абсцисс. Очевидно, что множество матриц  $K=PY=YPI$  образует группу. Следовательно, нормализацию следящего типа можно проводить поэтапно.

**Алгоритм 2**

1. Для выбранной прямой параллельной оси абсцисс эталонного изображения найти соответствующую прямую входного изображения.
2. Поместить центры тяжести этих прямых на ось ординат, тем самым осуществить переход к преобразованию с матрицей (3).
3. Функционалом вида (1) нормализовать перспективу.
4. Нормализовать косо́й сдвиг любым известным способом [2].

В заключение рассмотрим случай, когда неизвестна ни ось, ни точка преобразования.

Для данного случая связь между координатами входного и эталонного изображения

$$X = \frac{-x - k\lambda + t - k - \lambda nk}{\lambda y - l - \lambda n}, \quad Y = \frac{y(\lambda(-1) + n - m - \lambda mn)}{\lambda y - l - \lambda n},$$

где  $t, k$  – параметры смещения относительно оси ординат;  $m, n$  – относительно оси абсцисс;  $l$  – параметр параболической гомологии при несмещенных изображениях. Матрица, соответствующая дан-

ному преобразованию, имеет вид:  $K = \begin{pmatrix} -1 & k\lambda & t - k - \lambda nk \\ 0 & \lambda m - 1 & n - m - \lambda mn \\ 0 & \lambda & -l - \lambda m \end{pmatrix}$ . Если выполнимы условия

$$\lambda = \frac{t - k}{nk} \text{ и } \lambda = \frac{n - m}{nm} \Rightarrow k = \frac{mt}{n} \text{ то } K = \begin{pmatrix} \frac{m}{n} & \frac{t(n - m)}{n^2} & 0 \\ 0 & \frac{m^2}{n^2} & 0 \\ 0 & \frac{(n - m)}{n^2} & 1 \end{pmatrix}.$$

Введем обозначения:  $a = \frac{m}{n}$ ,  $b = \frac{t(n - m)}{n^2}$ ,  $h = \frac{(n - m)}{n^2}$ , тогда

$$K = \begin{pmatrix} a & b & 0 \\ 0 & a^2 & 0 \\ 0 & h & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 \\ 0 & a^2 & 0 \\ 0 & h & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & \frac{b}{a} & 0 \\ 0 & a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = D(a, a^2) P_x(h) Y\left(\frac{b}{a}\right),$$

где  $D(a, a^2)$  – сжатие,  $P_x(h)$  – параболическая гомология,  $Y\left(\frac{b}{a}\right)$  – косо́й сдвиг [2].

Алгоритм нормализации в этом случае имеет вид:

**Алгоритм 3**

1. Выполнить п.1-3. алгоритма 1.
2. Выполнить п.1-4. алгоритма 2.

Подводя итоги исследования, можно сделать выводы.

Для нормализации изображений, подверженных воздействию перспективы, получены математические модели, которые позволяют привести входные изображения к эталону при различных априорных данных:

- известный центр преобразования;
- известна только ось преобразования;
- неизвестный центр преобразования.

Чем больше априорной информации, тем проще процедура нормализация изображений. Приведены три варианта алгоритмов, сложность которых возрастает с уменьшением априорной информации.

**Литература:** 1. Моденов П.С. Аналитическая геометрия. М.: Московский университет, 1969, 598 с. 2. Пуятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990, 319 с.

*Поступила в редколлегию 18.10.2000*

УДК 681.5.015

О. Г. ГРИБ, А. Л. ЕРОХИН, А. А. СВЕТЕЛИК

## О ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Основной задачей электроэнергетики является бесперебойное снабжение потребителей электрической энергией. Для решения этой задачи необходимо решать вопросы оперативного управления электрическими сетями, как в штатных, так и в штатных ситуациях [1].

В настоящее время применяемые системы диспетчерского управления не являются, в полном объеме, системами поддержки принятия решений при аварийных ситуациях. Это обусловлено неполнотой информации о параметрах режимов работы электрической сети и отсутствием современных методов и средств распознавания аварийной ситуации. Поэтому невозможно достичь высокой эффективности принятия решений, особенно при аварийной ситуации.

В настоящее время для определения аварийных ситуаций в электрических сетях существует ряд приборов для регистрации аварийных событий:

- универсальный регистратор аварийных событий РРС1 (Москва);
- «Нева-OS» (Санкт-Петербург);
- информационно-диагностический комплекс «Регина» (Киев);
- «Рекон» (Донецк).

Недостатком этих приборов является значительная погрешность измеряемых информационных параметров, обусловленная малой частотой дискретизации входного сигнала, характеризующего аварию. Это не позволяет с достаточной точностью определить координаты места аварии. Кроме того, данные приборы предназначены только для фиксации самой аварии, и не позволяют оценивать аварийную ситуацию в электрических сетях.

В данной статье предлагается новый подход к решению задач мониторинга состояния и оцениванию аварийных событий в электрических сетях. Для этого предполагается использование методов решения пространственно-временных задач с помощью геоинформационных систем и технологий [2,3]. Разрабатываемая геоинформационная система (ГИС) управления электрическими сетями предназначена для получения, ведения и использования:

- базы данных параметров режимов работы сети;
- информации о графических, неграфических, пространственных и атрибутивных компонентах электрической сети.

Рассмотрим структуру разрабатываемой системы. Система должна содержать (рис. 1):

- 1) входные устройства контроля параметров режимов работы сети;
- 2) программное обеспечение для сбора первичного экспресс-анализа, архивации и хранения образа аварийного события в базе данных;
- 3) аппаратно-программное обеспечение каналов связи;
- 4) программную оболочку ГИС, которая содержит средства визуализации графической, пространственной и атрибутивной информации.

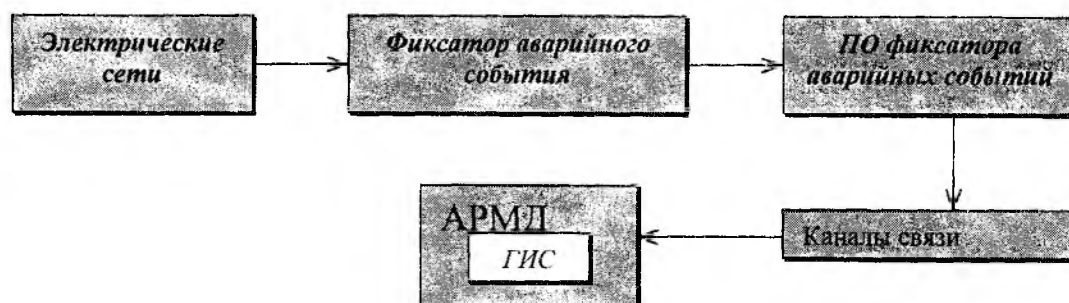


Рис. 1

Фиксатор аварийных событий получает информацию о параметрах электрической сети по мгновенным значениям токов и напряжений. Необходимость измерения мгновенных значений токов и напряжения обусловлена тем, что они наиболее информативны, т.к. несут информацию об амплитуде и фазе сигнала. По мгновенным значениям измеряемых сигналов ( $U$  и  $I$ ), можно определить практически все параметры электрической сети. Это происходит благодаря обработке мгновенных значений по специально разработанным алгоритмам. Фиксатор аварийных событий должен использовать при обработке мгновенных значений корреляционные методы обработки сигналов, основанные на базе дискретного преобразования Фурье. Такое построение алгоритма обработки информации обусловлено высокими требованиями к помехозащищенности, т.к. электрические сети “загрязнены” высшими гармониками, что вносит дополнительные погрешности в измеряемые параметры.

Сигналы, получаемые с фиксатора аварийных событий, обрабатываются программным обеспечением анализатора аварий и приобретают вид, пригодный для просмотра и визуального анализа.

На рис. 2 показан процесс анализа аварии и полученный гармонический состав.

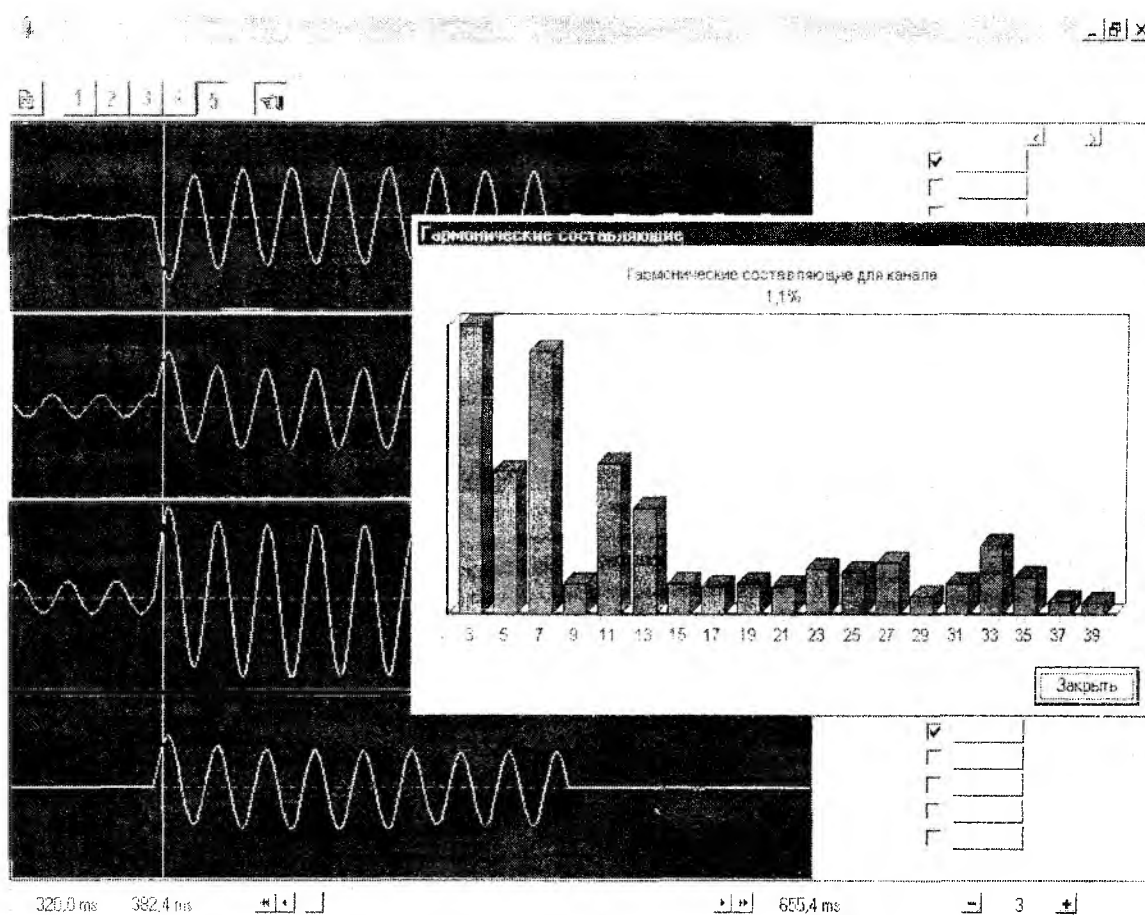


Рис. 2

Далее информация упаковывается в архивный файл (с целью обеспечения защиты информации и увеличения скорости передачи по каналам связи) и передается в ГИС.

Программное обеспечение фиксатора аварийных событий должно содержать микроядро сетевой операционной системы (ОС) со следующими компонентами:

- менеджер протокола ТСР/Р;
- менеджер выполняемых вычислительных процессов;
- менеджер очередей;
- менеджер файловой системы;
- менеджер символично-графического отображения.

Кроме того, ОС должна работать в системе реального или квазиреального времени. Всем этим требованиям наиболее полно удовлетворяет ОС QNX/Neutrino [4].

Рассмотрим основные функции разрабатываемой системы.

Запись аварийного события представляет собой файл оцифрованных данных. Указанный файл получается в результате аналого-цифрового преобразования. Каждый файл записи аварийного события имеет уникальное имя, позволяющее идентифицировать местонахождение прибора-фиксатора в электрической сети. Файл записи аварийного события содержит результаты измерений, полученных с измерительных трансформаторов тока и напряжения. Для того, чтобы при просмотре графиков отображались реальные мгновенные значения, необходимо задать коэффициенты трансформации. Эти коэффициенты задаются с помощью специального конфигурационного файла.

С приборов-фиксаторов аварийных состояний архивные файлы с записью события поступают на автоматизированное рабочее место диспетчера (АРМД) с интегрированной ГИС, выполняющей следующие задачи:

- распаковка архивных файлов;
- обработка поступившей информации;
- привязка информации о событии к географическим координатам;
- пространственно-временное представление поступившей информации на географической карте;
- анализ данных, основанный на интегрально-интеллектуальном подходе;
- автоматическое занесение информации о событии в базу данных АРМД;
- генерация информационной карточки события;
- определение координат аварийного события;
- генерация оптимальных решений по устранению последствий аварийного события;
- генерация вариантов решений по предотвращению аварийных событий;
- оптимизация маршрута движения оперативно выездной бригады (ОВБ) с целью устранения последствий аварийных событий;
- контроля маршрута ОВБ, основанные на использовании технологии глобального позиционирования (GPS).
- ГИС построена по модульному принципу.
- модуль статистического анализа;
- модуль определения координат места аварийного события;
- модуль генерации решения;
- модуль глобального позиционирования;
- модуль пространственной статистики;
- модуль коррекции картографической информации;
- модуль распознавания типа аварии;
- модуль обработки образов аварии;
- модуль отображения картографической информации.

Модульная структура обеспечивает масштабируемость и расширяемость системы.

Интегрирование рассмотренных компонент в ГИС управления электрическими сетями обеспечивает повышение эффективности принятия решений при аварийных ситуациях в условиях неполной информации. Позволяет осуществить диагностику работоспособности оборудования по величине токов отключения (токов короткого замыкания) и количеству отключений с помощью ГИС-модуля пространственной статистики.

ГИС позволит моделировать и прогнозировать аварийные ситуации, и принимать оптимальные управленческие решения.

Разработка ГИС принятия решений позволит повысить оперативность управления электрическими сетями и уменьшить влияние человеческого фактора на скорость принятия и качества решения.

**Список литературы:** 1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для ВУЗов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 2. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. 288 с. 3. Системы поддержки принятия решений при авариях в энергосетях / А.Л. Ерохин // Проблемы бионики. 1998. Вып. 50. С. 157-161. 4. Прожогин С. Neutrino: быстрее, выше и ... меньше / Современные технологии автоматизации. №1. 2000. С.32-37.

УДК 621.822.014.001.57

Д. Л. ЛЫСЕНКО, А. А. ЦИБУЛЬСКИЙ, П. И. ЧЕРЕДНИКОВ

**УСТРОЙСТВО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
ВОЗБУЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БИОСИСТЕМ**

Проблема разработки модели биологической клетки, наиболее приближенной к оригиналу, на современном этапе интересует все большее количество исследователей различных направлений. Интерес к работам в этой области связан с человеком как объектом исследований, а также с исследованиями по созданию нейрокомпьютеров и с разработкой элементной базы для них. Актуальность проблемы связана со сложностью постановки и проведения биологических экспериментов, необходимых для изучения структуры и конкретных параметров модели, с ограниченностью спектра применяемых математических и технических средств моделирования.

Для решения рассмотренной выше проблемы в работе [1] приводится описание комплекса моделей для оценки взаимосвязи функциональных, структурных и метаболических процессов в динамике для различных функциональных состояний и форм поведения клетки. В частности, например, рассматриваются модели, предназначенные для воспроизведения электрохимических механизмов ионного транспорта, генерации трансмембранного потенциала и пр. Модель клетки, описанная в работе [2], учитывает общеклеточные свойства пластического и энергетического обмена, без чего адекватное воспроизведение даже такой специфической формы деятельности нейрона, как его информационная функция, оказывается невозможной. Построение нейрокомпьютеров, в основном сводится к копированию иерархической организации структуры центральной нервной системы, реализуемой в виде нейронных ансамблей [3]. Элементы нейронных ансамблей выполняют определенные логические (или арифметические) функции. Такая организация не позволяет учитывать структурные изменения, происходящие в единичных элементах системы.

В работах [1-3] не учитывался вопрос, касающийся нелинейного характера изменения энергоемкого параметра системы. Воспроизводимость биологических процессов может быть обеспечена при условии оптимальной структуры модели. В предлагаемой работе моделирование процессов ведется путем управления энергоемким параметром (энергетическим режимом параметрической зонной системы). Разработано устройство, позволяющее моделировать основные функции биологического нейрона: возбуждение, генерацию потенциала действия, кратковременную память. В качестве модели использована параметрическая зонная модель элементов нейронных сетей [4, 5]. В основу работы модели положена теория параметрического резонанса в нелинейных колебательных системах на высших гармониках.

Структурная схема устройства приведена на рис. 1. Устройство включает следующие функциональные узлы:

I – управляющий, состоящий из следующих блоков: генератор накачки 1, усилитель мощности 2, источник смещения 3. Управляющие параметры: амплитуда и частота накачки, амплитуда напряжения смещения;

II – непосредственно модель биологического нейрона (расширенная блок-схема модели приведена на рис. 2);

III – функциональный, включающий следующие блоки: 1...n – функциональные блоки (дифференциаторы, интеграторы, генераторы различной частоты и формы сигнала), усилители с регулируемым коэффициентом усиления 2, согласующие цепи (буферные каскады) 3, электронный коммутатор 4;

IV – узел визуализации, который может включать осциллограф 1, либо ПЭВМ 2 (при использовании специализированного интерфейса).

Блок-схема модели биологического нейрона приведена на рис. 2. Принцип работы устройства заключается в следующем.

Узел I вырабатывает сигнал накачки для возбуждения параметрической зонной модели (модель нейрона – узел II). Напряжение возбуждения описывается выражением:

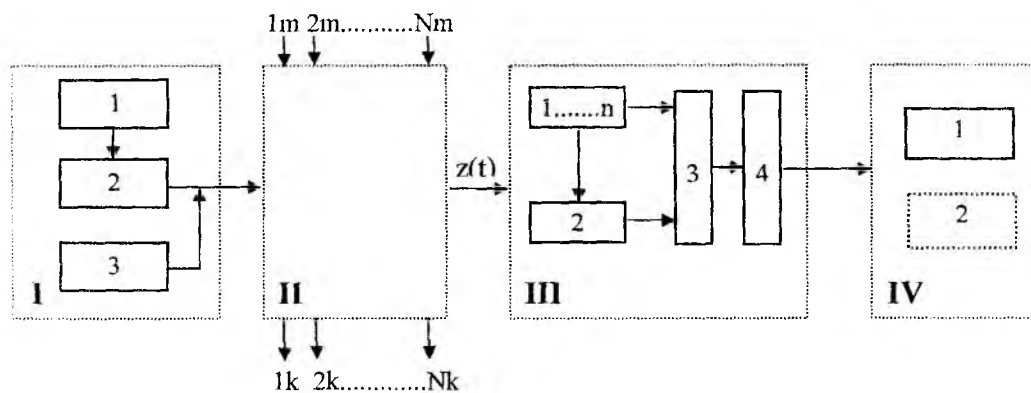


Рис. 1

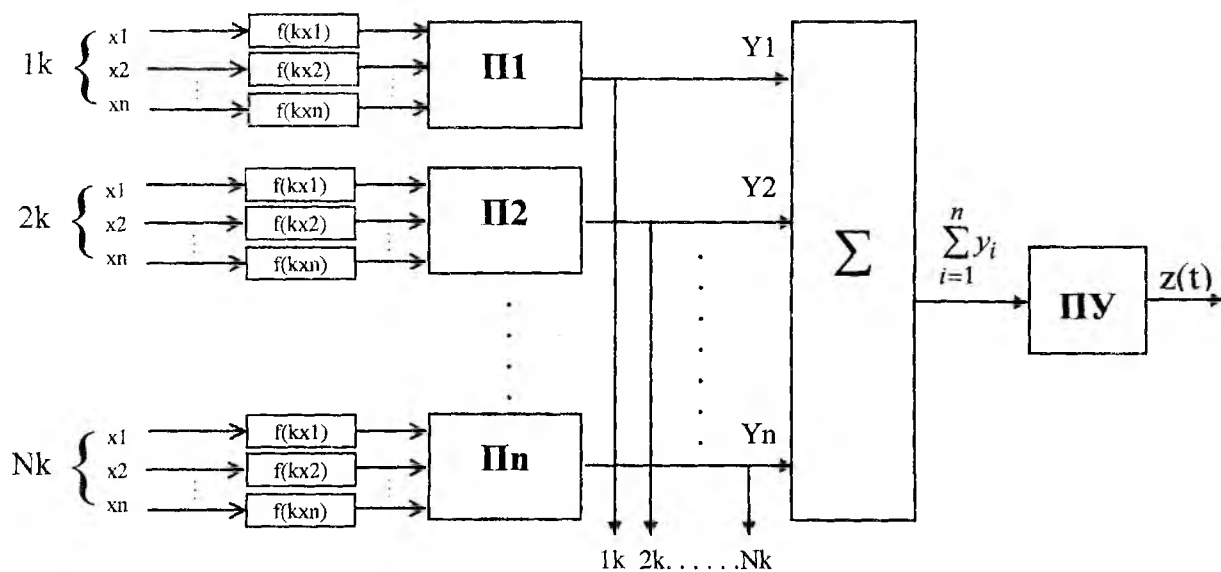


Рис. 2

$$U(t) = U_{CM} + U_m \cos \omega t ,$$

где  $U_{CM}$ ,  $U_m$  – амплитуда напряжения смещения и возбуждения соответственно;  $\omega$  – частота напряжения накачки.

Далее напряжение накачки подается на каждый параметрический контур (параметрон) П1, П2, ..., Пn, параметрический сумматор и параметрический усилитель ПУ (см. рис 2). Каждый из параметронов П1, П2, ..., Пn выполняет строго определенную операцию (арифметическую или логическую), а также функцию какого-либо элементарного устройства (фильтр, линия задержки и пр.). С точки зрения биологического нейрона, параметроны выполняют роль точек ветвления дендритного дерева. На входы  $1m, 2m, \dots, Nm$  подаются сигналы, величина каждого из которых изменяется относительно соответствующей весовой функции входа. Выходные сигналы  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  подаются на сумматор, сигналы  $1k, 2k, \dots, Nk$  – на входы узла III.

Выходной сигнал  $\sum_{i=1}^n y_i$  с выхода сумматора подается на параметрический усилитель ПУ, работающий в режиме, при котором параметрические колебания возникают при изменении входного сигнала.

ла. Сумматор, в совокупности с параметрическим усилителем, образуют цепочку сома-аксон. При превышении входным сигналом порогового значения на выходе ПУ появляются колебания с частотой накачки, промодулированные напряжением сигнала.

Следует отметить, что параметрический контур, используемый в сумматоре, является индуктивным, вследствие того, что емкость мембраны на всем протяжении потенциала действия постоянна. В свою очередь, в параметронах П1, П2, ..., Пn можно в качестве энергоемкого элемента применить нелинейную емкость (например, емкость p-n перехода), и следовательно параметрон будет емкостным. Известно, что изменения геометрических размеров или геометрии соседних клеток приводят к преобразованию логической характеристики имеющейся точки ветвления. Например, при расширении нервного волокна увеличивается задержка сигнала, которая связана с зарядкой мембранной емкости. Таким образом используя в параметронах П1, П2, ..., Пn емкости с различным номинальным значением можно расширить функциональные возможности модели для исследования изменяющейся геометрии нервной клетки.

Сигналы с выходов узла II поступают на входы функциональных блоков узла III, где выполняются функциональные преобразования сигналов по форме, амплитуде и частоте колебаний. Преобразования выполняются с целью исследования характера изменений параметров параметрической зонной системы (магнитная индукция В, напряженность магнитного поля Н, потокосцепление У, динамическая индуктивность резонансного контура и пр.). Все исследуемые сигналы подаются в узел IV на осциллограф, либо через специализированный интерфейс в ПЭВМ.

Возможная реализация модели нейрона (см. рис. 2) представлена электрической схемой на рис. 3. Модель реализована на индуктивных параметрических устройствах (ИПУ). Для упрощения изготовления модели и проведения экспериментальных исследований число параметронов П1, П2, ..., Пn сокращено до трех, по три входа в каждом. Функциональное назначение входных параметронов:

- П1 – линия задержки;
- П2 – логический элемент «ИЛИ», «И» (в зависимости от состояния входа х3);
- П3 – элемент «НЕ» (инверсия.)

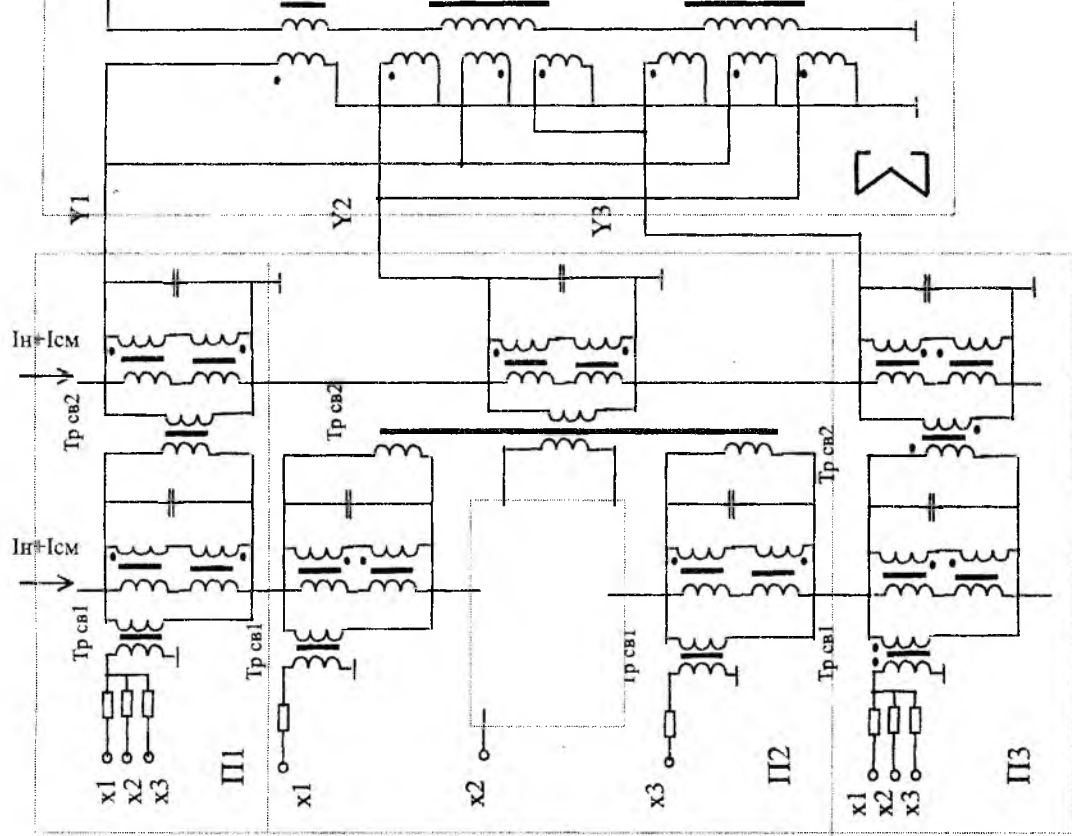
Функции весовых коэффициентов выполняют сопротивления связи  $R_{свi}$  на входах первичных обмоток трансформаторов связи  $Tr_{свi}$ .

Сложение сигналов У1 – У3 в сумматоре, как и на входах х1 – х2 в параметронах, выполняется по мажоритарному принципу. Параметрический усилитель ПУ работает в режиме, при котором изменение входного сигнала вызывает параметрические колебания. В этом случае рабочая точка тока накачки выбирается вне области генерации. Система реагирует на увеличение входного сигнала, определяемого величиной тока накачки.

Конструктивно ИПУ выполнен на ферритовых тороидальных сердечниках и содержит по три обмотки: обмотку управления, накачки и резонансную. Каждая резонансная обмотка совместно с линейной емкостью образует нелинейный колебательный контур. Включение сопротивлений в резонансный контур позволяет исключить самовозбуждение (генерацию) ИПУ, в результате чего, при отсутствии сигнала на обмотках управления, ИПУ переводится в режим «срыва» колебаний.

Принцип действия моделирующей схемы заключается в следующем. На входы х1 – х2 каждого из параметронов П1 – П3 поступают сигналы различной амплитуды и фазы. На входы первичных обмоток согласующих трансформаторов  $Tr_{свi}$  поступают сигналы просуммированные по мажоритарному принципу. Сигнал с каждого трансформатора  $Tr_{свi}$  поступает на управляющие обмотки соответствующих нелинейно-параметрических систем – ИПУ, питание которых осуществляется от внешнего генератора накачки. При условии достаточной амплитуды входных сигналов, совпадения их фаз с фазой накачки, в ИПУ возбуждаются колебания, амплитуда которых пропорциональна амплитуде входных сигналов. По обмоткам накачки протекает ток, периодически насыщающий сердечники трансформаторов ИПУ и модулирующий индуктивность в нелинейно-параметрической системе. Величина тока накачки определяет глубину модуляции индуктивности, которая изменяется с удвоенной частотой напряжения накачки.

Величина последовательного сопротивления в резонансных контурах сумматора и ПУ подобрана так, чтобы при отсутствии входных сигналов (сигналов на обмотках управления) потери в системе были несколько больше количества энергии передаваемой по цепи накачки, что приводит систему в



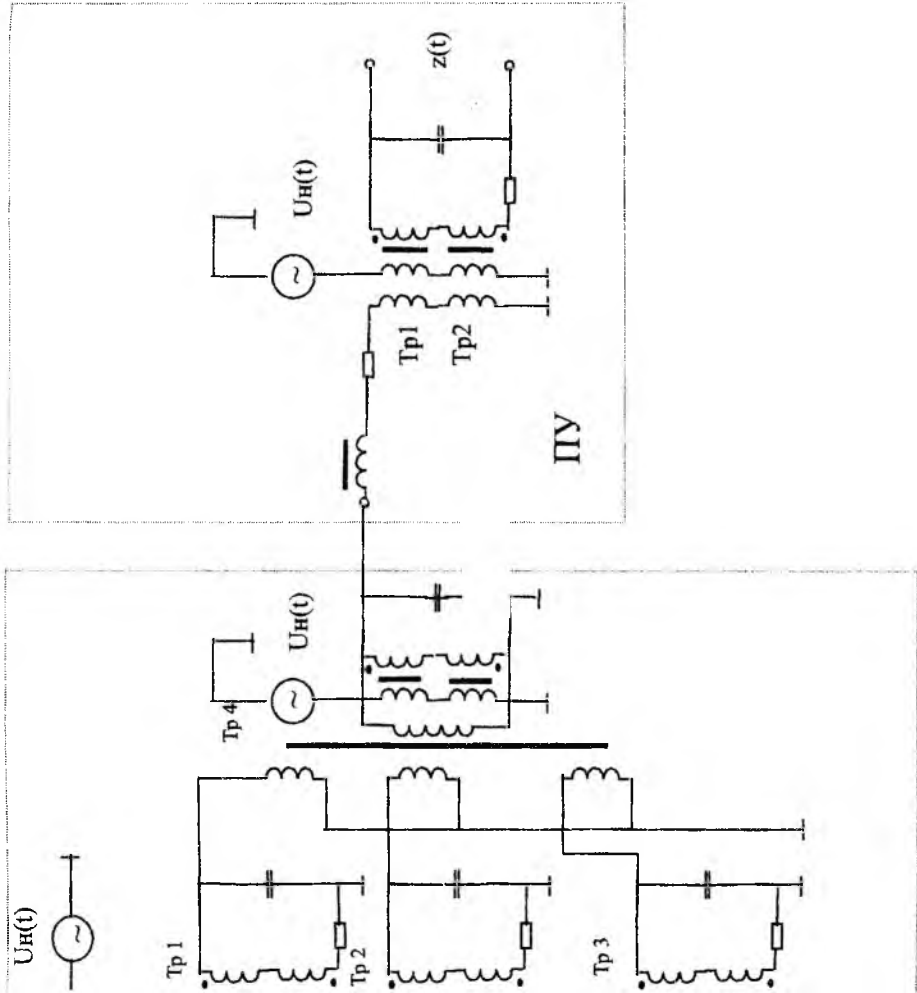


Рис. 3

устойчивое состояние – отсутствие колебаний. При наличии входного сигнала с фазой питающего напряжения или отличной на  $180^\circ$  в систему передается дополнительная энергия. Прирост энергии приведет к возникновению в контуре возрастающих параметрических колебаний, амплитуда которых ограничивается нелинейностью системы. Следовательно, на выходе сумматора (или ПУ) будут колебания промодулированные частотой входного сигнала с амплитудой пропорциональной входному сигналу. С точки зрения биологического нейрона возбуждение колебаний в параметронах сумматора и ПУ можно сопоставить со следующими процессами: деполяризующее напряжение определенной величины приводит к увеличению проводимости мембраны для ионов натрия. Поэтому последние проходят сквозь мембрану, что увеличивает деполяризующее напряжение, приводя к еще большему увеличению проводимости для ионов натрия. Данный процесс является типичным эффектом положительной обратной связи. В свою очередь выходящие из клетки ионы калия приводят мембранный потенциал к равновесной величине, т.е. формально являются эквивалентом потерь в системе.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования дают основания предполагать наличие аналогии биологических и параметрических процессов на высших гармониках с позиции следующих явлений:

- проводимость ионных каналов подобна активному сопротивлению параметрической системы, значение которого становится отрицательным при резонансе;
- энергетический параметр (индуктивность или емкость) подобен химическому потенциалу открывания ворот ионных каналов;
- фаза колебаний подобна тормозящим и возбуждающим сигналам, соответственно при фазе параметрических колебаний  $0^\circ$  и  $180^\circ$ ;
- сигнал  $z(t)$  с ПУ в узле II подобен потенциалу действия.

Разработанное устройство позволяет исследовать нелинейный характер изменения параметров биологического нейрона на основе нелинейно-параметрической зонной модели, работающей на высших гармониках. Устройство позволяет объективно управлять биологическими процессами, обеспечивая их воспроизводимость и простоту управления на основании системы аналогий. При включении в устройство электрических цепей, моделирующих точки ветвления аксонов, возможно расширение функциональных возможностей модели нейрона по передаче и информационной обработке сигналов.

**Список литературы:** 1. *Механизмы живой клетки: алгоритмическая модель* / С.Н.Гринченко, С.Л.Загускин. М.: Наука, 1989. 232 с. 2. *А.с. 945874, СССР, МКИ G 06 G7/60. Устройство для моделирования распределения потоков энергии в экологических и биологических системах* / С.Н.Гринченко, С.Л.Загускин // Открытия. Изобретения. 1982. №27. С.236. 3. *Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы* / Н.М.Амосов, Т.Н.Байдык, А.Д.Гольцев и др. / Под ред. Н.М.Амосова. Киев: Наук.думка, 1991. 272с. 4. *Лысенко Д.Л., Цибульский А.А. Способ моделирования процессов в биосистемах на основе нелинейной параметрической модели* // «Радиоэлектроника и молодежь в XXI в.: Часть 1»: Сб. науч. трудов по материалам 3-го Международного молодежного форума. ХТУРЭ. Харьков, 1999. С.189-192. 5. *Цибульский А.А., Чередников П.И. Построение параметрической зонной модели элементов нейронных сетей* // Проблемы бионики. 2000. Вып.52. С. 58-62.

*Поступила в редколлегию 29.06.2000*

УДК 519.7

М. А. ВОЛК, О. А. КОБЫЛИН, С. Н. САРАНЧА

## ФОРМАЛЬНЫЙ АППАРАТ ПОСТРОЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ

На современном этапе развития вычислительной техники наблюдается широкое использование распределенных баз данных для построения единых информационных систем. Примерами таких систем являются, например, единая налоговая база данных Украины, базы данных Министерства Внутренних Дел, корпоративные базы данных предприятий и организаций.

К особенностям подобных баз данных можно отнести:

1. Огромный объем хранимой информации.
2. Оригинальность каждой записи (которая соответствует персоне, объекту, и т.п.).
3. Распределение записей по отдельным носителям и подсистемам (например, по территориальному принципу).
4. Большие временные и ресурсные затраты на поиск записей, верификацию при внесении изменений и дополнений.
5. Возможные ошибки операторов при выполнении операций, перечисленных в п.4.

Перечисленные особенности приводят к необходимости создания алгоритмов работы с подобными базами данных, которые учитывают большие ресурсные затраты и неоднозначность при формировании объектов (записей) баз данных.

В качестве примера можно привести базу данных для Отдела виз и регистраций. Объектом базы данных выступает информация об отдельном гражданине, содержащая поля: имя, фамилию, номер и дату выдачи паспорта, возраст, и т.д. При поиске, проверке, замене данных, необходимо идентифицировать текущий объект с объектами всей базы данных. При этом необходимо учитывать, что оператор мог внести ошибку в существующую или вводимую информацию, это может повлечь за собой отрицательный результат по выполнению операций над базой данных, а также к выполнению значительного объема вычислительных ресурсов, затрачиваемых на выполнение указанных действий.

На сегодняшний день существует множество программ и алгоритмов, позволяющих работать с такими базами данных. Однако именно к их использованию сейчас предъявляется много претензий. Одной из причин этого – недостаточная формализация задачи и алгоритмов управления распределенными базами данных. Целью данной статьи является рассмотрение основ формального аппарата постановки и решения задачи распознавания объектов распределенной базы данных.

Дадим формальное описание объектам и условиям задачи.

Совокупность объектов задачи есть кортеж:

$$O = \{S, F, G\},$$

где  $S$  – система объектов базы данных:  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ ,  $N$  – число элементов базы данных.

$F$  – множество функций соответствия двух элементов базы данных  $\bar{f}(S_i, S_j)$ ;  $G$  – функция обработки результатов операции соответствия:  $G(\bar{f}(S_i, S_j), i, j = \overline{1, N} | i = j$ ,

Элемент базы данных является совокупностью полей  $S_i = \{e_1, e_2, \dots, e_K\}$ , где  $K$  – число полей в элементе базы данных. Каждое поле элемента имеет свою длину (размер)  $z(e_k)$  и алфавит  $A(e_k)$  возможных значений.

*Определение 1.* Простейшей базой данных называется такая база данных  $S$ , число полей элементов которой постоянно:  $K(S_i) = K(S_j) \forall i, j \in [1, N]$ ; размер соответствующих полей одинаков:

$z(e_k^{S_i}) = z(e_k^{S_j}), \forall i, j \in [1, N] \& \forall k, l \in [1, K]$ ; и соответствующие поля определяются одинаковым

алфавитом:  $A(e_k) \Leftrightarrow A(e_l) \forall k, l \in [1, K]$ .

Понятие одинакового алфавита допускает следующее толкование: одинаковыми алфавитами будем считать любые два алфавита с одинаковыми множествами символов, либо с множествами, с однозначным взаимным соответствием символов (группы символов) этих алфавитов. Такая трактовка позволяет работать с алфавитами разных языков, при условии наличия функции, которая сопоставляет символы алфавита. Примером применения данного положения может служить запись паспортных данных клиента паспортного стола на разных языках (украинском, английском, русском). В этом случае, при наличии правил сопоставления букв (буквосочетаний) алфавитов, можно организовать операции с элементами базы данных, сформированными на разных языках.

*Определение 2.* Предикативная функция соответствия есть дискретная функция, принимающая значение 1, если все соответствующие поля аргументов равны между собой. В противном случае, она равна 0:

$$\bar{f}(S_i, S_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } S_i.e_k = S_j.e_k \forall k \in [1, K] \\ 0, & \text{если } S_i.e_k \neq S_j.e_k \text{ хотя бы для одного } k \in [1, K] \end{cases} \quad (1)$$

*Определение 3.* Вероятностная функция соответствия определена в диапазоне  $[0, 1]$  и выражает вероятность того, что два элемента базы данных соответствуют одному объекту:

$$\bar{f}_p(S_i, S_j) = P(S_i \Leftrightarrow S_j).$$

*Следствие.* Исходя из определения вероятностной функции соответствия, ее область допустимых значений  $\bar{f}_p \in [0, 1]$ .

Соответствие элементов базы данных определяется через равенство их полей, следовательно, функция соответствия элементов базы данных, есть композиция функций соответствия полей элементов базы данных. Вероятностная функция соответствия, как правило, используется на промежуточных этапах проведения анализа, а на этапе принятия решения необходим переход от вероятностной функции к предикативной функции соответствия.

*Определение 4.* Порогом чувствительности функции соответствия называется величина  $\rho$ , переводящая значение вероятностной функции соответствия в одно из определенных значений предикативной функции соответствия:

$$\bar{f}(S_i, S_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } \bar{f}_p(S_i, S_j) < \rho \\ 1, & \text{если } \bar{f}_p(S_i, S_j) \geq \rho \end{cases} \quad (2)$$

*Лемма 1.* В качестве порога чувствительности функции соответствия элементов базы данных, может выступать произведение вероятностных функций соответствий одноименных полей элементов базы данных:

$$\rho = \bar{f}_p(S_i.e_1, S_j.e_1) \cdot \bar{f}_p(S_i.e_2, S_j.e_2) \cdot \dots \cdot \bar{f}_p(S_i.e_K, S_j.e_K) \quad (3)$$

*Доказательство.* Пусть  $\rho$  есть величина, определенная выражением (3). На основании следствия из определения 3 областью допустимых значений функции соответствия является интервал  $[0, 1]$ , тогда,  $\bar{f}_p(S_i.e_1, S_j.e_1) \in [0, 1]$ ,  $\bar{f}_p(S_i.e_2, S_j.e_2) \in [0, 1]$ , ...,  $\bar{f}_p(S_i.e_K, S_j.e_K) \in [0, 1]$ . Следовательно, произведение функций:  $\bar{f}_p(S_i.e_1, S_j.e_1) \cdot \bar{f}_p(S_i.e_2, S_j.e_2) \cdot \dots \cdot \bar{f}_p(S_i.e_K, S_j.e_K) \in [0, 1]$ , то есть  $\rho$  в этом случае:  $\rho \in [0, 1]$ . Вероятностная функция соответствия  $\bar{f}_p(S_i, S_j) \in [0, 1]$ , следовательно,

значение величины  $\rho$  попадает в область допустимых значений функции  $\overline{f}_p(S_i, S_j)$ , а значит, может быть порогом согласно определению 4.

**Определение 5.** Два элемента базы данных имеют сходство, если их предикативная функция соответствия равна 1.

**Определение 6.** Функция обработки результатов операции соответствия  $G$  возвращает значение целевой функции оценки выполнения одной из команд (или ее части) управления базой данных.

Например, команда поиска аналогичного объекта базы данных, в процессе ее выполнения, может вернуть несколько объектов базы данных, имеющих сходство (определяемое функциями соответствия), среди которых надо выделить одну (несколько) для возврата пользователю, этим реализуется цель выполнения команды.

Используя введенные определения можно выделить те объекты задачи распознавания, которые допускают параллельное выполнение (рис. 1).

Распределенная база данных подразумевает расположение подмножества ее элементов ( $S^N$ ) на удаленных вычислительных ресурсах. Таким образом, появляется возможность организации парал-

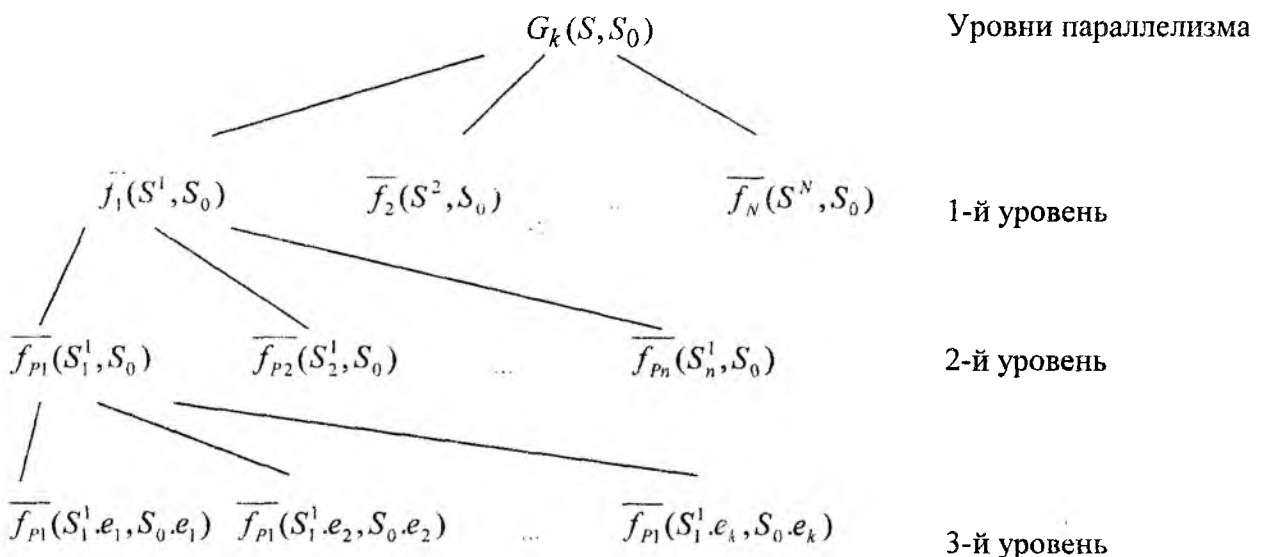


Рис. 1

лелизма первого уровня как совокупности подзадач распознавания сегментов распределенной базы данных. Параллелизм второго уровня основан на том факте, что результаты выполнения функций соответствия пары выбранных элементов базы данных не зависят друг от друга. И, наконец, третий уровень параллелизма определяется независимостью, в общем случае, выполнения функций соответствия полей элементов.

Введенные в статье определения позволяют представить процесс распознавания в параллельном виде, что приводит к возможности построения формального аппарата параллельных алгоритмов распознавания объектов распределенных баз данных. Решение данной задачи предполагается раскрыть в дальнейших работах.

**Список литературы:** 1. Клини С. Математическая логика. М.: Мир, 1973. 480 с. 2. Горбачев В.А., Волк М.А., Бабаев А.П. Методы декомпозиции моделей непрерывных систем для моделирования в условиях распределенных ресурсов // Радиотехника и информатика. 1998. №1. С.35-38. 3. Колесников Д. О., Пославский С.А., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Идентификация начальных логических понятий // Проблемы бионики. 2000. Вып.52 С.9-18.

Поступила в редколлегию 1.07.2001

УДК 62.501.72:57

Р. Т. ВОЛКОЛУПОВА

**ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Использование высокого уровня организации структурных и функциональных отношений в организационных системах, обеспечивающих жизнеспособность биологическим системам, рассмотрено в [1]. Для исследования такого рода систем требуется специальное построение баз данных. Концепция этих баз данных, обусловленная возможностями централизации информации, позволяет ввести принципиально новую технологию обработки данных и существенно повысить эффективность исследования функционирования такой организационной системы.

Одним из главных требований к базе данных является минимизация избыточности данных, используемых в процессе функционирования. Использование в ходе решения исследовательских задач одних и тех же данных по несколько раз в различных программах позволяет в определенных условиях снизить затраты на вводе исходных данных. Важным требованием является также независимость данных, которая трактуется как свобода пользователя от структуры обрабатываемых данных. Стремление разработчиков оградить программы пользователей от необходимости их переработки при каждой модификации структуры данных или свести эту переработку к минимуму объясняется существенной зависимостью стоимости системы от стоимости программных средств. Обеспечение этих требований может быть осуществлено решением ряда задач по рациональному использованию базы данных. Сформулируем одну из них и изложим предлагаемый метод её решения.

Задача. Имеется соответствующая база данных иерархической структуры. Требуется организовать наиболее экономичный формализованный процесс выбора необходимых частей базы данных.

Решение данной задачи рассмотрим на примере. Организационную систему представим в виде системы, в которой четко определены как отдельные элементы (реквизиты или информационные массивы), их совокупности, подсистемы, так и взаимосвязи.

Тогда наиболее подходящей и распространенной моделью структуры такой системы будет линейный конечный граф, соединяющий геометрическую наглядность структуры с её содержательностью.

Если каждому элементу сетевой системы идентифицировать некоторую вершину графа  $x_i$ , геометрический образ которой на графе будет задан точкой, то совокупность их определит множество  $x_i \in X$ . Взаимосвязи между элементами, определенные на графе с помощью отрезков кривых, идентифицируем  $u_j$ . Они образуют множество связей  $u_j \in U$ . Тогда совокупность множества элементов  $X$  и множества связей  $U$  представляют собой граф  $G(X, U)$  с вершинами  $x_i \in X$  и ребрами  $u_j \in U$ , моделирующий структуру рассматриваемой системы [2]. Вершины таких графов моделируют простые элементы системы, часто называемые двухполюсниками.

Однако, в рассматриваемой сложной системе при определенной степени детализации, кроме простых элементов, двухполюсников, рассматриваются и некоторые подсистемы, состоящие, в свою очередь, из простых элементов и даже подсистем меньших размеров. В графе такие подсистемы задаются многополюсниками.

Многополюсник – это подграф, моделирующий сетевую подсистему, внутренняя структура которой не раскрывается при рассмотрении данного графа. Он связан с другими элементами графа с помощью вершинполосов, не имеющих в графе связи друг с другом. При этом вершинполосы являются двухполюсниками.

Таким образом, модель структуры сложной системы может быть задана моделирующим графом, который определен следующим образом. Под моделирующим графом  $G(X, U)$  будем понимать математическое представление структуры сложной сетевой системы, состоящей из простых элемен-

тов, двухполосников, составляющих множество простых вершин графа  $x_k$ , и подсистем, многополосников, заданных в графе полюсамивершинами  $x_l, x_k, \cup x_k = X$ , а также совокупностью взаимосвязей  $U$  вершин и вершинполосов, определяющих ребра моделирующего графа.

Тогда математической моделью структуры системы базы данных, на первом уровне абстракции будет моделирующий граф.

Графы, содержащие многополосники, изучены недостаточно. Предложенное представление многополосников позволяет рассматривать их как совокупность невзаимосвязанных вершинполосов, равноправных с вершинами графов. Тогда описания, преобразования, топологические исследования моделирующих графов, содержащих многополосники, ведутся также как с графами, состоящими из двухполосников. Связь вершин графа с вершинами подграфов осуществляется через их вершиныполосы. Все топологические понятия, действительные для графов с двухполосниками при данном представлении графа, содержащего многополосники, остаются в силе и для последнего. Это обстоятельство позволяет обобщить два вида моделирующих графов в один общий и в дальнейшем вести все рассуждения для общего моделирующего графа, допускающего в качестве своих элементов модели двухполосников и многополосников.

Представление структуры системы её моделью, графом, позволяет абстрагироваться от специфики системы, рассматривать её в обобщенном виде и упрощать процесс последующего исследования посредством использования имеющихся моделей. Тогда структурные исследования сетевых систем могут рассматриваться как практическое толкование теории графов.

Исследования структуры базы данных на её модели, общем моделирующем графе позволяет, образно говоря, увидеть "лес" (информационное содержание данных), а не "отдельные деревья" (конкретные значения данных).

Назовем многополосники рассматриваемой модели структуры сетевой системы, базы данных, подструктурами, а общий моделирующий граф для краткости – просто графом.

Рассмотрение структуры базы данных на логикоматематическом уровне абстракции позволяет построить логическую схему для отдельных подструктур многополосников в виде подсхем, а затем интегрировать их для определения общей логической схемы структуры [3]. Тогда общая логическая схема будет представлять собой таблицу используемых типов данных, в качестве которых выступают имена реквизитов. Структуру базы данных на концептуальном уровне будем называть информационной структурой. Она является проблемноориентированной и системнонезависимой, т.е. независимой от конкретной системы базой данных и операционной системы. Воспользуемся обоими рассмотренными уровнями абстракции для решения задачи идентификации подструктур структуры базы данных.

Итак, модель структуры базы данных, общий моделирующий граф, представлен совокупностью логических подсхем, что позволяет конкретному пользователю использовать только отдельные части интегрированной информации, рассматриваемые как элементы структуры базы данных.

Для одной и той же схемы структуры базы данных можно специфицировать несколько подсхем, которые пересекаются. В отдельных случаях подсхема может равняться всей схеме структуры базы данных либо специфицировать всего один тип записей, под которыми будем понимать модель данных "плоский файл", в которой категории называются типами записей, свойства категории – атрибутами. Однако, в одной подсхеме нельзя специфицировать элементы, принадлежащие разным многополосникам: каждая подсхема соответствует только одному из них. Подсхема составляется в соответствии с нуждами конкретной прикладной программы, её можно использовать и для других программ, если она удовлетворяет их требованиям.

Представление многополосников подсхемами позволяет лучшим образом идентифицировать подструктуру баз данных, что обеспечит эффективность функционирования по времени и стоимости процесса выбора данных, а также позволит сократить объем используемой памяти. Рассмотрим изложенное выше утверждение на тестовом примере.

Геометрически математическую модель базы данных можно представить древовидным графом.

Для каждой вершины графа определяется наибольшее из расстояний  $d(x_i, x_j)$  ко всем остальным его вершинам. Наибольшее из таких чисел будет диаметром графа, наименьшее – его радиусом. Вершины дерева, для которых максимальное расстояние до других вершин равно радиусу графа, называются корневыми. Для дерева нашей математической модели, диаметр которого равен 5, а радиус – 3, корневым вершинам дадим названия  $x_1, x_3$ .

Пронумеруем сверху вниз и слева направо числами натурального ряда понятия нижнего уровня иерархии базы данных, т.е. присвоим им числовые идентификаторы. Представим эти числа в виде векторов. Пусть  $H(1,2,3,4)$  номер зоны, где зона – это логическая или физическая группировка последовательности данных.  $M_1(1,7,13,19)$  – минимальное значение каждой зоны,  $P=1$  шаг,  $M_2(6,12,18,20)$  – максимальное значение каждой зоны.

Для свертывания, которое состоит в ассоциации некоторых чисел к одному целому числу, используем так называемую формулу мультипликативных оснований.

$$N = n_1 + B_1 * n_2 + B_1 * B_2 * n_3 + \dots + B_1 * B_2 * \dots * B_h * n_{h+1} + \dots + B_1 * B_2 * \dots * B_{p-1} * n_p, \quad (1)$$

где  $B_1, B_2, \dots, B_{p-1}$  – основания словаря (под основанием словаря следует понимать совокупность закодированных слов, которые помещаются в одной зоне);  $n_1, n_2, \dots, n_p$  – совокупность чисел, которые должны храниться в зонах; \* – умножение. Обратное выражение

$$N = Q_1 * B_1 + N_1, \quad (2)$$

где  $N_1$  – остаток от деления  $N$  на  $B_1$ ;  $Q_1$  – результат деления  $N$  на  $B_1$ . Основание словаря определяется по формуле

$$B = (M - m) / p + 1, \quad (3)$$

где  $M, m$  – максимальное и минимальное значение зоны соответственно, шаг  $P$ .

Найдем основание словаря для каждой зоны с помощью векторов:  $B_1 = (6 - 1) / 1 + 1 = 6$ ,  $B_2 = (12 - 7) / 1 + 1 = 6$ ,  $B_3 = (18 - 13) / 1 = 6$ ,  $B_4 = (20 - 19) / 1 + 1 = 2$ .

Из формулы кодирования

$$Z = (N - m) / P, \quad (4)$$

где  $N$  – число, которое хранится в записи, находим  $N, n_1, n_2, \dots, n_p$  для каждого кортежа  $\langle 01, 07, 13 \rangle, \langle 02, 08, 14, 19 \rangle, \langle 03, 09, 15, 20 \rangle, \langle 04, 10, 16 \rangle, \langle 05, 11, 17 \rangle, \langle 06, 12, 18 \rangle$ .

Из (4) для кортежа  $\langle 01, 07, 13 \rangle$   $n_1 = (1 - 1) / 1 = 0$ ;  $n_2 = (7 - 7) / 1 = 0$ ;  $n_3 = (13 - 13) / 1 = 0$ ;  $N = 0 + 6 * 0 + (6 * 6) * 0 = 0$ .

Для кортежа  $\langle 02, 08, 14, 19 \rangle$   $n_1 = (2 - 1) / 1 = 1$ ;  $n_2 = (8 - 7) / 1 = 1$ ;  $n_3 = (14 - 13) / 1 = 1$ ;  $n_4 = (19 - 19) / 1 = 0$ ;  $N = 1 + 6 * 1 + (6 * 6) * 1 + (6 * 6 * 6) * 0 = 43$ .

Аналогично для остальных кортежей  $\langle 03, 09, 15, 20 \rangle, \langle 04, 10, 16 \rangle, \langle 05, 11, 17 \rangle, \langle 06, 12, 18 \rangle$ .

Соответственно  $N = 302$ ,  $N = 129$ ,  $N = 172$ ,  $N = 215$ .

Из геометрической модели можно выделить одиннадцать многополосников, моделирующих подструктуры:  $\langle X_1, X_2, X_3 \rangle, \langle X_1, X_2 \rangle, \langle X_1, X_2, X_4 \rangle, \langle X_2, X_4 \rangle, \langle X_1, X_3, X_5, X_6 \rangle,$

$\langle X_1, X_3 \rangle, \langle X_1, X_3, X_5 \rangle, \langle X_3, X_5 \rangle, \langle X_3, X_5, X_6 \rangle, \langle X_5, X_6 \rangle, \langle X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \rangle$ .

Воспользуемся тем, что всякой числовой последовательности  $A = (a_i^j)$  составленной из  $m$  элементов  $a_i^j \in \overline{0, n-1}$ , отвечающих ограничению  $a_i^j \neq a_\ell^j, i \neq \ell, \ell = \overline{1, m}$  можно поставить в соответствие кодномер  $0 \leq N_j \leq |A_m| - 1$  с помощью выражения

$$N_j = \sum_{i=1}^m (a_i^j - S(a_i^j)) \rho_i, \quad (5)$$

где  $S(a_i^j) = \sum_{t=1}^{i-1} \text{SIGN}(\text{SIGN}(a_i^j - a_t^j) + 1)$ ;  $\rho_i = \prod_{S=i+1}^m (n+1-S) = (n-i)/(n-m)!$ ;  $A_m$  – количество

разных последовательностей ( $|A_m| = n!/(n-m)! = \prod_{i=1}^m (n+1-i)$ ;  $a_0^j = n$ )

Найдем  $N_j$  для кортежа  $\langle X_1, X_2, X_3 \rangle$ , т.е.  $\langle 0, 43, 129 \rangle, n = 6, m = 3$

$$N_j = (0-0)5!/3! + (43-1)4!/3! + (129-1)3!/3! = 296.$$

Для кортежа  $\langle X_1, X_2 \rangle$ , т.е.  $\langle 0, 43 \rangle, n = 6, m = 3$

$$N_j = (0-0)5!/4! + (43-1)4!/4! = 42.$$

Для кортежа  $\langle X_2, X_4 \rangle = \langle 43, 302 \rangle, n = 6, m = 3$

$$N_j = (43-1)5!/4! + (302-1)4!/4! = 511.$$

Аналогично для остальных кортежей  $\langle X_1, X_2, X_4 \rangle = \langle 0, 43, 302 \rangle, \langle X_1, X_3, X_5, X_6 \rangle = \langle 0, 129, 172, 215 \rangle, \langle X_1, X_3 \rangle = \langle 0, 129 \rangle, \langle X_1, X_3, X_5 \rangle = \langle 0, 129, 172 \rangle, \langle X_3, X_5 \rangle = \langle 129, 172 \rangle, \langle X_3, X_5, X_6 \rangle = \langle 129, 172, 215 \rangle, \langle X_5, X_6 \rangle = \langle 172, 215 \rangle, \langle X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \rangle = \langle 0, 43, 129, 302, 172 \rangle.$

Соответственно  $N_j = 469, N_j = 2263, N_j = 128, N_j = 683, N_j = 811, N_j = 3458, N_j = 1069, N_j = 2550.$

Рассмотренный метод для хранения схемы базы данных требует 31 число для идентификации реквизитов, тогда как традиционный – 251 литералов. После свертывания, мы будем манипулировать только с 15 числами, которые займут 8 байт памяти.

Таким образом, мы получаем экономию памяти на 50% и соответственно сокращаем время поиска данных. Предлагаемый метод позволяет также избавиться от операций деления и умножения при кодировании и декодировании, поскольку шаг  $P = 1$ , и уменьшить их стоимость.

**Список литературы:** 1. Волколунова Р.Т. Построение базы алгоритмов программ специального назначения // Проблемы бионики. Республиканский межведомственный сборник. 1988. Вып. 40. 2. Волколунова Р.Т. Выбор дерева экстремальной длины на графе, содержащем многополюсники // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. 1975. Вып. 35. С.107-112. 3. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. М.: Мир, 1980. 662 с.

Поступила в редколлегию 2.08.2000

УДК 577

И. И. ЗИМА, Л. Г. ТЕЛЕПНЕВА

**ОБСУЖДЕНИЕ ВОЛНОВОЙ ПРИРОДЫ ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА АНТИГЕН-ГЕН С ПОЗИЦИЙ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ МИНИМАЛЬНЫХ ЭНЕРГИЙ**

Для понимания и моделирования механизмов, регулирующих активность генов в живой клетке, интерес представляет процесс формирования её конституционного иммунологического ответа при иммунизации чужеродными структурами и веществами-антигенами.

Иммунный ответ клетки начинается при её механическом контакте с чужеродной структурой. При этом проверяется корреляция поверхностных рельефов клетки и этой структуры. При обнаружении «чужой» структуры клетка сбрасывает свои рецепторы. При этом снижается вероятность инфицирования клетки носителем антигена.

Затем включается вторая фаза иммунного ответа – универсальная адаптационная клеточная защита, основанная на бесконтактном обнаружении и распознавании сигналов, активации генов иммунного ответа и формировании белков-антител. К антителам относятся R-белки и пять видов иммуноглобулинов. Механизмы синтеза белков-антител окончательно не выяснены. Однако, имеется достаточно оснований для предположения о том, что они подчинены тем же принципам, что и синтез других белковых макромолекул [1].

Важная роль при реализации второй фазы иммунного ответа клетки отводится информационному каналу антиген-ген.

Определение физической природы информационного канала антиген-ген имеет фундаментальное значение для решения вопросов наследственности и иммунитета. Именно в этом канале происходит распознавание чужеродных антигенов, принимается решение и включается синтез белков-антител.

Волновая природа этого канала в настоящее время не вызывает сомнения. Исследованию иммуноспецифичности волновой информации в живом организме посвящен ряд работ [2,3]. В них, на основе представления полимерных молекул в виде дипольных вибраторов, обосновывается электромагнитный механизм обмена информацией в канале антиген-ген. На основании предположения о жёсткой связи частоты собственных колебаний вибраторов и реальных размеров молекул-диполей авторы этих работ приходят к модели канала, в котором используются монохроматические сигналы ультрафиолетового и видимого диапазонов волн. При этом распознавание «свой - чужой» производится по частотному признаку.

По нашему мнению, такая монохроматическая модель канала имеет ряд недостатков, которые требуют либо её уточнения, либо поиска других механизмов обмена информацией. Главным недостатком монохроматической модели является большая величина электромагнитной энергии квантов оптических диапазонов частот. В соответствии с положениями квантовой химии, они способны разрывать химические связи и, следовательно, должны разрушать молекулы и клетки при их генерации внутри организма. Преодолеть этот недостаток представляется возможным только на основе использования квантов малой неразрушающей энергии. Кроме того, в модели не учитываются процессы поглощения, переотражения и суперпозиции оптических волн нескольких источников излучений, а также влияние на прием и распознавание доплеровского смещения частоты при их движении. Распознавание по частоте, принятое в модели, не позволяет распознавать изменение конфигурации молекул-диполей при сохранении длины их периметра, в частности, при спирализации и глобулизации. Следовательно, монохроматическая модель не позволяет рассчитывать даже на различие вирусов, бактерий, кластеров, клеток и т.п., не говоря уже о селекции отдельных фрагментов генного аппарата на фоне длинных цепей ДНК и РНК.

Целью настоящей статьи является обсуждение роторной модели канала антиген-ген с фазокодулируемым сигналом. Эта модель открывает одно из направлений роторной бионики и позволяет, по нашему мнению, преодолеть отмеченные недостатки.

Разработать такую модель удаётся на основе представлений роторного геомагнетизма, теоретической основой которого является квантовая физика минимальных энергий и магнитного резонанса. Роторный геомагнетизм [4] исследует излучательные квантовые магнитные переходы микро и макрочастиц, находящихся в естественных условиях геомагнитного поля. Частицам свойственны особого рода внутреннее роторное движение – вращение вокруг своей оси, и особые роторные магнитные взаимодействия, обусловленные прецессией их магнитных моментов. В клетке частицы могут взаимодействовать посредством роторной индукции или магнитных роторных волн прецессии, распространяющихся вдоль полимерных цепей и в цитоплазме. В условиях земного магнетизма кванты роторных излучений обладают неразрушающими минимально возможными энергиями и позволяют реализовать высокую чувствительность канала. Частота сигнала в роторной модели определяется напряженностью геомагнитного поля и не зависит от размеров и формы молекул гена и антигена.

Основные процессы на молекулярном уровне, определяющие функциональные особенности каждой живой клетки, так или иначе, касаются взаимоотношений нуклеиновых кислот с белками и их комплексами.

Главными взаимодействующими объектами в канале антиген-ген также являются белки и нуклеиновые кислоты, являющиеся информационными биополимерами. Важнейшие факторы иммунитета антигены и антитела являются белками, а ген иммунного ответа – составной частью РНК и ДНК. Свойства этих биополимеров определяются последовательностью мономеров, из которых строятся их молекулы (аминокислот и нуклеотидов соответственно). Молекулы белков и нуклеиновых кислот живых организмов представляют собой цепи мономеров без разветвлений, имеющие главную цепь, обрамление главной цепи, начальную и конечную группы.

В соответствии с теорией магнитного резонанса полимерную цепь можно представить в виде пассивного четырехполосника, состоящего из протяженных электронной и протонной спиновых систем, находящихся в геомагнитном поле. Такое представление позволяет анализировать биологические процессы в канале антиген-ген методами радиотехники. В постоянном магнитном поле молекулы биополимеров ориентируются длинной осью перпендикулярно к его силовым линиям [5]. При этом оси спиралей ДНК и РНК параллельны осям хромосом и генов, а магнитные моменты моногрупп ориентированы по полю или против поля, аналогично магнитным моментам парамагнетиков. Благодаря этому вдоль цепей могут распространяться роторные волны прецессии и осуществляется информационное взаимодействие биологических макромолекул.

Важную роль при этом играет вода, составляющая основу цитоплазмы клеток и межклеточной жидкости. Вода, обволакивая биологические макромолекулы за счет ионных и водородных связей, образует единую спиновую систему организма и является средой для распространения роторных волн прецессии в канале антиген-ген.

Моногруппы связаны в ДНК и РНК с помощью ковалентных и водородных связей. Как показано в работе [4], в местах этих соединений имеет место спин-уровневая модуляция магнитных моментов моногрупп и изменение направления их прецессии на  $180^\circ$ . Поэтому импульсная характеристика четырехполосника полимерной цепи представляет собой составной фазокодоманипулированный  $(0, p)$  сигнал, код которого соответствует структуре последней. Отдельные гены отличаются длительностью и структурой кодов. Поскольку частота сигнала определяется напряженностью геомагнитного поля и не зависит от размеров цепи, то можно выделить несколько уровней генного аппарата клетки, имеющих свои коды:

1. Ядро;
2. Митохондрии;
3. Целые хромосомы;
4. Отдельные гены и участки хромосом;
5. Отдельные субъединицы генов.

Высшим уровнем генного аппарата организма является генотип, представляющий собой сложную систему взаимодействующих друг с другом и влияющих друг на друга генов. Их взаимодействие осуществляется посредством роторной индукции роторных волн. Суммарное излучение генотипа составляет магнитную ауру организма, которая благодаря особенностям генов характеризует индивидуальность конкретного человека и неповторима как его отпечатки пальцев.

Полимерные цепи белков и элементов генного аппарата могут излучать и принимать кодированные сигналы. Их излучение может происходить, например, пассивным способом под воздействием дельта-импульсов, а прием – фильтровым способом [6].

Анализ структуры белков и нуклеиновых кислот показывает, что их полимерные цепи и соответствующие им пассивные четырехполосники существенно отличаются.

Полимерную цепь белка можно представить в виде линии задержки с отводами. Главная цепь полимера образована атомами азота и углерода, связанными ковалентными связями NC и CC. В отводы линии задержки включены атомы кислорода, водорода и радикалы. Атомы кислорода и водорода способствуют образованию водородных связей белка с водой, а радикалы определяют индивидуальные свойства каждой аминокислоты.

Полимерная цепь ДНК и РНК также может быть представлена в виде линии задержки с отводами, но более сложной. Её основу составляет углеводно-фосфатная цепь, к которой присоединены азотистые основания. Подобно белкам эти азотистые основания тоже могут быть представлены в виде линий задержки, образованных ковалентными связями NC и CC, но имеющих форму кольца. Также как у белков в отводы этих линий задержки включены атомы водорода и кислорода. Функции радикалов при этом выполняют молекулы рибозы и дезоксирибозы.

Анализ кольцевых и линейных структур с точки зрения химии связей и радиотехники показывает, что они эквивалентны. Поэтому кольцевую линию задержки с отводами можно рассматривать как трансверсальный фильтр, согласованный с фазокодоманипулированным сигналом, а в целом молекулу РНК и ДНК – как линейную линию задержки, в отводы которой включены фильтры, согласованные с разными сигналами. В теории распознавания сигналов такое устройство называется многоальтернативным классификатором фильтрового типа [6]. Набор фильтров при этом образует каталог априорных сигналов и многоканальное устройство свёртки. Обнаружение и распознавание в классификаторе производится по принципу: «ключ – замок». Такой классификатор позволяет распознавать сигналы, формируемые как чужими белками, так и чужими нуклеотидами.

Как видно, важное место в моделях и РНК и ДНК занимают азотистые основания. Однако характерным отличием молекул ДНК и РНК является то, что в ДНК информационные азотистые основания спрятаны внутри двойной углеводно-фосфатной спирали и защищены от внешних полей, а у молекул РНК – наоборот выставлены наружу и как бы пред—назначены для их приема. Информационное значение азотистых оснований подтверждается экспериментально. Так, очищенные препараты чужеродных ДНК и РНК, введенные в организм, антителообразования не вызывают [2]. На основе различий конструкций можно предположить, что в решении задачи распознавания сигналов антигена в канале антиген–ген основная роль отводится РНК. Справедливость такого предположения подтверждается также тем, что РНК участвует в формировании антител и, по-видимому, при этом используется тот же каталог априорных сигналов.

Сигнал от антигена можно представить в виде отклика (импульсной характеристики) его четырехполосника на входное дельта-возмущение, которое образуется, например, нервным импульсом, имеющим магнитную роторную природу. Можно предположить, что условием обнаружения и распознавания отклика классификатором РНК является отличие его кода от кода специфического гена клетки.

На основании высказанных соображений можно составить описательную модель функционирования канала антиген–ген во второй фазе иммунного ответа клетки. При этом в качестве антигена удобно рассматривать фрагменты клеточных рецепторов (R-белки), имеющие структурную близость к иммуноглобулинам. Следует различать фрагменты клеточных рецепторов, слетевшие в межклеточное пространство, оставшиеся в цитомембране клетки и появляющиеся в цитоплазме клетки. В данном случае речь будет идти о последних.

R-белки появляются внутри клетки и становятся антигенами в результате распада на фрагменты и сброса клеточных мембранных рецепторов при механическом контакте клетки с чужеродной структурой. Последняя может быть представлена неограниченным кругом биохимических, биологических или физических агентов.

Можно предположить, что при нахождении R-белка в составе клеточного рецептора, структурный код последнего, состоящего из кодов фрагментов, совпадал с кодом одного из генов РНК, и не

вызывал антителообразования. При распаде рецептора это соответствие нарушается и классификатор РНК уже классифицирует R-белок как «чужой». Начинается антителообразование и нейтрализация R-белка. Поскольку самая эффективная агрегация антитела и антигена происходит тогда, когда они подобны «как замочная скважина ключу» или «как перчатка руке» [1], то при иммунизации организма чужеродными структурами наблюдается существенное увеличение уровня R-белков. Уровень R-белков используется как показатель целостности клеточных мембран. Как и следовало ожидать, его повышение предшествует синтезу других антител. Можно предположить, что канал антиген-ген работает аналогично и при иммунизации клетки другими антигенами.

О работоспособности и реализуемости предложенной роторной модели свидетельствуют следующие экспериментально установленные особенности иммунного ответа организма при его иммунизации чужеродными веществами. Так, характерными являются высокая структурная чувствительность и избирательность ответа. Например, в молекуле гаммаглобулина достаточно иметь лишь несколько замен аминокислот в первичной цепи белка, отличающих его от такого же своего белка, чтобы организм ответил антителообразованием [2]. По-нашему мнению, это соответствует таким важным свойствам фазокодомодулированных сигналов, как высокая разрешающая способность и помехоустойчивость. Для надежного распознавания сигналов в каналах любого классификатора должно обеспечиваться достаточное отношение сигнал/шум. По-видимому, в классификаторе канала антиген-ген это условие выполняется. Так, в многочисленных экспериментах показано [2], что единичные молекулы сильного антигена не вызывают иммунного ответа организма и должна быть превышена определенная доза антигена. Отмечается также, что при некотором пределе повышения дозы антигена наступает нечувствительность организма, что технически соответствует насыщению и перегрузке классификатора.

Для определения других особенностей и технических характеристик роторной модели информационного канала антиген-ген необходимо проведение дальнейших специальных исследований.

**Список литературы:** 1. *Эпидемиологические и иммунопатологические аспекты вирусных гепатитов и ВИЧ инфекции* / Под ред. Ю.Л. Волянского, Н.В. Васильева, В.Р. Москленко. Харьков; «Бизнес Информ». 1997. 2. *Чиркова Э.Н.* Иммуноспецифичность волновой информации в живом организме. Москва: Новый центр, 1999. 3. *Чиркова Э.Н., Бабаев Ю.Н.* Электромагнитная природа иммунитета и клеточной дифференцировки. Киев: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова, 1987. 4. *Зима И.И., Богданов Г.Ф.* Роторное взаимодействие в природе / Харьков: Научн. техн. сб. ХВУ, 1999, вып. 4 (26). 5. *Мекшенков М.И.* Магнитное двойное лучепреломление в растворе ДНК. // Молекулярная биофизика. Москва: Наука, 1965. 6. *Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: Справочник* / Под ред. Я.Д. Шармана. Москва: ЗАО «МАКВИС», 1998.

Поступила в редколлегию 7.08.2000

УДК 519.87

О. Ф. МИХАЛЬ

## ЛОКАЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ ОДНОРОДНЫЙ АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОЙ ОПЕРАЦИИ КонтРАСТНОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

Одним из направлений исследования и моделирования объектов живой природы применительно к развитию технических систем является распознавание образов. Процесс распознавания не сводится к пассивной фиксации окружающей среды, но предполагает активное многофакторное не во всем формализуемое и не всегда детерминированное взаимодействие, включающее подстройку характеристик, регулирование пороговых значений, адаптацию рецепторов и др. При этом рецепторные системы объектов живой природы, как правило, обеспечивают параллельную обработку поступающих на них информационных потоков. За счет этого описание ситуации дополнительно осложняется. В связи с задачами подобного класса, представляет интерес подход на основе нечеткой логики (НЛ), по следующим двум причинам: 1) математический аппарат теории нечетких множеств (НМ), на которой базируется НЛ, позволяет работать с нечетко описанными объектами; 2) допустима организация параллельной обработки, в частности с использованием локально-параллельных (ЛП) алгоритмов.

В настоящей работе в рамках нечетко-логического подхода рассматривается локально-параллельный алгоритм, реализующий одну из операций, применяемых при распознавании образов – контрастную интенсификацию.

В технических приложениях НЛ применяются операции, связанные с манипулированием нечеткостью. Применительно к задачам распознавания образов, эти операции могут использоваться, в частности, при выделении объектов или их деталей на фоне окружающей среды. Степень четкости элементов нечеткого множества (НМ)  $A: \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$  задается указанием значений их функции принадлежности (ФП)  $m_A(x_i) \in [0,1]$ . Определена операция возведения в положительную степень  $\alpha$ :  $A^\alpha: \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ ,  $\mu_{A^\alpha}(x_i) = \mu_A^\alpha(x_i)$ . На ее основе определены операции *концентрации*  $CON(A) = A^2$  и *растяжения*  $DIL(A) = A^{0.5}$  (1), при которых происходят *однонаправленные* изменения (уменьшения или увеличения, соответственно) значений ФП; а так же определена операция *контрастной интенсификации* (КИ):

$$A': \{x'_1, x'_2, \dots, x'_i, \dots, x'_n\}, \mu_{A'}(x'_i) = \begin{cases} 2(\mu_A(x_i))^2, & 0 \leq \mu_A(x_i) \leq 0,5 \\ 1 - 2(1 - \mu_A(x_i))^2, & 0,5 < \mu_A(x_i) \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

Функция (1), являющаяся комбинацией  $CON(A)$  и  $DIL(A)$ , при которой происходит *разнонаправленное* изменение (уменьшение при  $0 \leq m_A(x_i) \leq 0,5$  и увеличение при  $0,5 \leq m_A(x_i) \leq 1$ ) значений ФП.

Операции над элементами НМ эффективно реализуются на локально-параллельных (ЛП) алгоритмах [2,3], которые обеспечивают повышенную производительность и поэтому позволяют моделировать более сложные системы на существующей вычислительной технике. При ЛП реализации ФП  $\mu_A$  масштабируются с округлением до целочисленных значений  $\bar{\mu}_A$ , представляемых в виде двоичных фрагментов длиной  $n$ . Фрагменты конкатенируются по  $k$  штук в *регистровые представления* (РП) в соответствии с разрядностью  $N > kn$  вычислительной системы (ВС). РП и ЛП алгоритмы называются *однородными*, если фрагменты имеют равную длину. В случае разной длины фрагментов РП и ЛП алгоритмы называются *неоднородными*. В настоящей работе рассматривается только *однородный* случай.

ЛП алгоритм представляет собой последовательность специальным образом подобранных стандартных компьютерных операций (сложение, регистровый сдвиг, поразрядные логические «И», «ИЛИ», «исключающее ИЛИ» и др.) над целыми положительными числами – исходными РП. Результатом этих операций является целое положительное число, которое может быть интерпретировано как конкатенация результатов соответствующей нечеткой операции над конкатенантами исходных РП.

Как отмечалось, принцип ЛП предполагает целочисленное масштабирование ФП. При масштабировании целесообразно выбирать число градаций значений ФП равным  $2^n$ , где  $n$  – число двоичных позиций фрагмента. При этом  $\bar{\mu}_A = 0$  соответствует значению  $m=0$ ,  $\bar{\mu}_A = (2^n - 1)$  – значению  $\mu=1$ , а промежуточные целочисленные  $\bar{\mu}_A \in \{1, 2, \dots, (2^n - 2)\}$  – дробным значениям  $0 < m < 1$ , следующим с шагом  $1/(2^n - 1)$ . Выражение (1) при этом принимает вид :

$$\bar{\mu}_{A'}(x'_i) = \begin{cases} 2 * (\bar{\mu}_A(x_i)) * (\bar{\mu}_A(x_i)), & 0 \leq \bar{\mu}_A(x_i) \leq 2^{(n-1)} \\ (2^n - 1) - 2 * ((2^n - 1) - \bar{\mu}_A(x_i)) * ((2^n - 1) - \bar{\mu}_A(x_i)), & 2^{(n-1)} < \bar{\mu}_A(x_i) \leq (2^n - 1) \end{cases} \quad (2)$$

где символ (\*) обозначает целочисленную процедуру, аналогичную умножению дробных чисел меньших единицы, с отбрасыванием избыточной части. ЛП алгоритм этой процедуры представлен в [3]. Может быть показано, что процедура (\*) нарушает нормировку: НМ, являющееся произведением, всегда субнормально. Однако применительно к КИ это не существенно: согласно определению, верхние значения  $\bar{\mu}_A$  симметричны нижним (заменяются разностью с максимальным значением  $(2^n - 1)$ ), поэтому нормальность результата КИ сохраняется. Соответствие масштабированного представления КИ исходному иллюстрируется графиками рис. 1 (исходная ФП  $\mu_A$ ) и рис. 2 (масштабированная ФП  $\bar{\mu}_A$  при  $n = 5$ ).

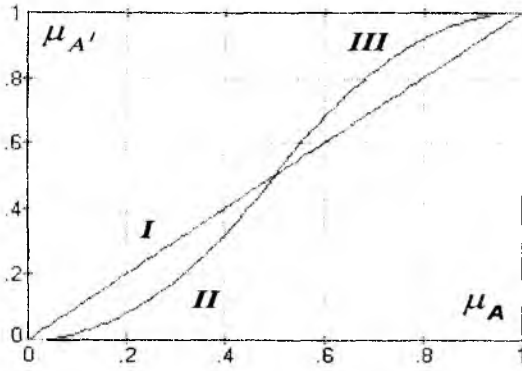


Рис. 1.

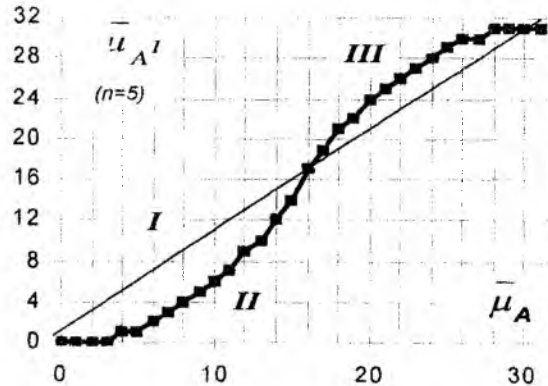


Рис. 2.

На рис. 1 римскими цифрами обозначены: I – линейно изменяющийся профиль ФП без применения КИ,  $\mu_{A'} = \mu_A$ ; II – часть профиля, соответствующая значениям ФП  $0 \leq \mu_A \leq 0,5$ , подвергшаяся КИ  $\mu_{A'} = 2(\mu_A)^2$ ; III – часть профиля, соответствующая ФП  $0,5 \leq \mu_A \leq 1$ , подвергшаяся КИ  $\mu_{A'} = 1 - 2(1 - \mu_A)^2$ .

На рис. 2: I – линейный профиль ФП без КИ,  $\bar{\mu}_{A'} = \mu_A$ ; II – часть профиля ФП  $0 \leq \mu_A \leq 15$ , подвергшаяся КИ  $\bar{\mu}_{A'} = 2(\mu_A)^2$ ; III – часть профиля ФП  $16 \leq \mu_A \leq 31$ , подвергшаяся КИ  $\bar{\mu}_{A'} = 1 - 2(1 - \mu_A)^2$ . Графики рис. 1 и 2 получены непосредственным расчетом по формулам (1 и 2), соответственно.

Приведем пошаговое описание ЛП алгоритма КИ. При этом будем использовать вспомогательные константы, представленные ниже в двоичной системе счисления (группы позиций, соответствующие отдельным фрагментам, выделены круглыми скобками):

$$\begin{aligned} E_1 &: \{ \dots (1 \dots 11)(0 \dots 00)(1 \dots 11)(0 \dots 00)(1 \dots 11) \}_{(2)}, \\ E_2 &: \{ \dots (0 \dots 00)(1 \dots 11)(0 \dots 00)(1 \dots 11)(0 \dots 00) \}_{(2)}, \\ I_0 &: \{ \dots (0 \dots 01)(0 \dots 01)(0 \dots 01)(0 \dots 01)(0 \dots 01) \}_{(2)}. \end{aligned}$$

При четном количестве  $k$  конкатенированных фрагментов число значащих разрядов  $E_1, E_2$  и  $I_0$  –  $(k-1)n, kn$  и  $(kn+1)$ , соответственно; при  $k$  нечетном –  $kn, (k-1)n$  и  $((k-1)n+1)$ , соответственно. Обозначим побитовые логические «И» и «ИЛИ» – как  $\wedge$  и  $\vee$ , соответственно; регистровый сдвиг (не циклический) на  $i$  двоичных позиций влево и вправо – как  $\ll i$  и  $\gg i$ , соответственно.

### Контрастная интенсификация

Шаг 1. Формирование шаблона  $W$  для выделения фрагментов, соответствующих значениям ФП  $0,5 \leq \mu \leq 1$ :  $C = A \wedge (I_0 \ll (n-1))$ ;  $W = C + (C \gg 1) + (C \gg 2) + \dots + (C \gg (n-1))$ .

Шаг 2. Изменение в регистровом представлении  $A$ , соответствующее замене  $\mu$  на  $(1-\mu)$  при  $0,5 \leq \mu \leq 1$ . Для этого производятся следующие действия. Вырезание из  $A$  фрагментов, соответствующих шаблону  $W$ :  $B = A \wedge W$ . Удаление вырезанных фрагментов из  $A$ :  $A = A - B$ . Вычитание вырезанных фрагментов из шаблона  $W$ :  $B = W - B$ . Помещение результата обратно в  $A$ :  $A = A \vee B$ .

Шаг 3. Получение наборов прореженных фрагментов:  $A_1 = A \wedge E_1$ ,  $A_2 = A \wedge E_2$ . В  $A_1$  остаются только нечетные, в  $A_2$  - только четные фрагменты.

Шаг 4. Начальные установки цикла перебора разрядов фрагментов и формирования частичных сумм:  $S_1 = 0$ ,  $S_2 = 0$ ,  $i = 0$ , где  $i = 0, 1, \dots, (n-1)$ .

Шаг 5. Выделение  $i$ -го разряда фрагмента:  $C_1 = A_1 \wedge (I_0 \ll i)$ ,  $C_2 = A_2 \wedge (I_0 \ll i)$ .

Шаг 6. Формирование  $i$ -й маски:  $M_1 = C_1 + (C_1 \ll 1) + (C_1 \ll 2) + \dots + (C_1 \ll (n-1))$ ,  $M_2 = C_2 + (C_2 \ll 1) + (C_2 \ll 2) + \dots + (C_2 \ll (n-1))$ .

Шаг 7. Частичное суммирование:  $S_1 = S_1 + ((A_1 \ll i) \wedge M_1)$ ,  $S_2 = S_2 + ((A_2 \ll i) \wedge M_2)$ .

Шаг 8. Приращение:  $i = i + 1$ . Если  $i \leq (n-1)$ , переход к Шагу 5.

Шаг 9. Умножение на 2 и отбрасывание избыточных младших разрядов:  $S_1 = (S_1 \ll 1) \wedge E_2$ ,  $S_2 = (S_2 \ll 1) \wedge E_1$ .

Шаг 10. Составление полного произведения  $S$  из прореженных наборов  $S_1$  и  $S_2$ :  $S = ((S_1 + S_2) \gg n)$ .

Шаг 11. Формирование результата, включающее следующие действия. Вырезание фрагментов согласно шаблону  $W$ :  $B = S \wedge W$ . Удаление вырезанных фрагментов:  $S = S - B$ . Вычитание вырезанных фрагментов из шаблона:  $B = W - B$ . Помещение  $B$  обратно в результат  $S$ :  $S = S \vee B$ .

Примечания. Шаги 3 – 10 представляют собой процедуру ЛП умножения [3], модифицированную для возведения  $A$  в квадрат. Умножение на 2 есть регистровый сдвиг на одну позицию в сторону старших разрядов, что реализовано в Шаге 9. Возможен вариант, дающий качественно сходные результаты: Шаг 9  $S_1 = S_1 \wedge E_2$ ,  $S_2 = S_2 \wedge E_1$ ; Шаг 10  $S = ((S_1 + S_2) \gg (n-1))$ . Взаимовлияния между фрагментами в обоих случаях не происходит, поскольку во всех фрагментах находятся числа меньшие единицы старшего разряда фрагмента. Это обеспечивается шаблоном  $W$ , создаваемым на Шаге 1 алгоритма.

**Тестовый пример.** Пусть  $n=3$ ,  $k=5$ ,  $A = (101)(000)(100)(111)(010)_{(2)} = 20794_{10}$ ,  $E_1 = (111)(000)(111)(000)(111)_{(2)} = 29127_{10}$ ,  $E_2 = (111)(000)(111)(000)(111)(000)_{(2)} = 233016_{10}$ ,  $I_0 = (1)(001)(001)(001)(001)_{(2)} = 4681_{10}$ .

Шаг 1.  $(I_0 \ll (n-1)) = (100)(100)(100)(100)(100)_{(2)} = 18724_{10}$ ,  $C = (100)(000)(100)(100)(000)_{(2)} = 16672_{10}$ ,  $W = (111)(000)(111)(111)(000)_{(2)} = 29176_{10}$ .

Шаг 2.  $B = (101)(000)(100)(111)(000)_{(2)} = 20792_{10}$ ,  $A = (010)_{(2)} = 2_{10}$ ,  $B = (010)(000)(011)(000)(000)_{(2)} = 8384_{10}$ ,  $A = (010)(000)(011)(000)(010)_{(2)} = 8386_{10}$ .

Шаг 3.  $A_1 = (010)(000)(011)(000)(010)_{(2)} = 8386_{10}$ ,  $A_2 = 0$ .

Шаг 4.  $S_1 = 0$ ,  $S_2 = 0$ ,  $i = 0$ . Шаг 5.  $C_1 = (1)(000)(000)_{(2)} = 64_{10}$ ,  $C_2 = 0$ .

Шаг 6.  $M_1 = (111)(000)(000)_{(2)} = 448_{10}$ ,  $M_2 = 0$ .

Шаг 7.  $S_1 = (011)(000)(000)_{(2)} = 192_{10}$ ,  $S_2 = 0$ . Шаг 8.  $i = 1$ ,  $i \leq 2$ .

Шаг 5.  $C_1 = (10)(000)(010)(000)(010)_{(2)} = 8322_{10}$ ,  $C_2 = 0$ .

Шаг 6.  $M_1 = (1)(110)(001)(110)(001)(110)_{(2)} = 58254_{10}$ ,  $M_2 = 0$ .

Шаг 7.  $S_1 = (100)(001)(001)(000)(100)_{(2)} = 16964_{10}$ ,  $S_2 = 0$ .

Шаг 8.  $i = 2$ ,  $i \leq 2$ .

Шаг 5.  $C_1 = 0$ ,  $C_2 = 0$ .

Шаг 6.  $M_1 = 0$ ,  $M_2 = 0$ .

Шаг 7.  $S_1 = (100)(001)(001)(000)(100)_{(2)} = 16964_{10}$ ,  $S_2 = 0$ .

Шаг 8.  $i = 3$ ,  $i > 2$ .

Шаг 9.  $S_1 = (1)(000)(010)(000)(001)(000)_{(2)} = 33800_{10}$ ,  $S_2 = 0$ .

Шаг 10.  $S = (1)(000)(010)(000)(001)_{(2)} = 4225_{10}$ .

Шаг 11.  $B = (1)(000)(010)(000)(000)_{(2)} = 4224_{10}$ ;  $S = 1$ ;  $B = (110)(000)(101)(111)(000)_{(2)} = 24952_{10}$ ;  $S = (110)(000)(101)(111)(001)_{(2)} = 24953_{10}$ .  $\square$

**Проверка.**  $A=(101)(000)(100)(111)(010)_{(2)}=\{(5)_{(10)}(0)_{(10)}(4)_{(10)}(7)_{(10)}(2)_{(10)}\}$ .  $S=\{(7-2*(7-5)^2)_{(10)}(0)_{(10)}(7-2*(7-4)^2)_{(10)}(7-2*(7-7)^2)_{(10)}(2*2^2)_{(10)}\}$ . ЛП операции возведения в квадрат и умножения на 2 выполняются блоком, после чего отбрасываются три младших разряда.  $S=\{(7-1)_{(10)}(0)_{(10)}(7-2)_{(10)}(7-0)_{(10)}(1)_{(10)}\}=\{(6)_{(10)}(0)_{(10)}(5)_{(10)}(7)_{(10)}(1)_{(10)}\}=\{(110)(000)(101)(111)(001)\}_{(2)}$ . Последнее двоичное число равно  $24953_{10}$  и совпадает с результатом тестового примера.

В отличие от исходного варианта (Рис. 1), ЛП алгоритм КИ необратимо нивелирует значения ФП вблизи максимального и минимального значений. Как следует из рис. 2, значения  $\bar{\mu}_A=0$  при  $\bar{\mu}_A \in \{0,1,2,3\}$  и значения  $\bar{\mu}_A=31$  при  $\bar{\mu}_A \in \{28,29,30,31\}$  не различимы и не могут быть различены при последующей обработке. Таким образом, необратимо убираются соответствующие детали объекта. Данная особенность должна учитываться при проектировании конкретных приложений алгоритма.

Как следует из графиков рис. 1 и 2, при применении процедуры КИ крутизна ФП увеличивается вблизи значений  $\mu_A=0,5$  и  $\bar{\mu}_A=15$  и уменьшается вблизи  $\mu_A=0, \bar{\mu}_A=1, \mu_A=0$  и  $\bar{\mu}_A=31$ . Таким образом, рассмотренный алгоритм повышает степень определенности (вероятность, весомости, значимость – в зависимости от контекста) для более определенных фрагментов объекта и понижает для менее определенных. Сказанное может быть пояснено на примере обработки изображений с градациями серого цвета. Наименее определены фрагменты объекта вблизи среднего уровня ( $\mu_A=0,5, \bar{\mu}_A=15$ ). Они являются “серыми”, в отличие от “черных” ( $\mu_A=0, \bar{\mu}_A=0$ ) и “белых” ( $\mu_A=1, \bar{\mu}_A=31$ ). Поэтому при КИ градации “серого” максимально смещаются к “черному” и “белому”. Градации же вблизи “черного” и “белого” смещаются слабо, но наиболее близко расположенные к “абсолютно черному” и “абсолютно белому” сливаются с ними и теряются ( $\bar{\mu}_A \in \{0,1,2,3\}$  и  $\bar{\mu}_A \in \{28, 29, 30, 31\}$ , рис. 2).

Точка  $\mu_A=0,5, \bar{\mu}_A=15$ , не претерпевает изменения при КИ. Это значение является опорным и соответствует в теории НМ уровню, по которому строится четкое множество, минимально удаленное от нечеткого в среднеквадратическом смысле [1]. Минимальная удаленность на интуитивном уровне соответствует сохранению равновесия параметров объекта (баланс “черного” и “белого” в случае обработки изображений). Таким образом, рассмотренный алгоритм КИ позволяет *равновесно* интенсифицировать контрастность объекта. Но нечеткая обработка может вестись не для сохранения, а для нарушения баланса и выявления некоторых отдельных интересующих элементов объекта не в “серой” области, а в градациях вблизи “белого” или “черного”. В этом случае может представить интерес модифицированная процедура - *неравновесная* КИ:

$$A^{ii}, \{x^{ii}_1, x^{ii}_2, \dots, x^{ii}_p, \dots, x^{ii}_n\}, \mu_{A^i}(x^i) = \begin{cases} M(\mu_A(x_i))^2, & 0 \leq \mu_A(x_i) \leq \left(\frac{1}{M}\right) \\ 1 - M(1 - \mu_A(x_i))^2, & \left(\frac{1}{M}\right) < \mu_A(x_i) \leq 1 \end{cases}$$

где  $M > 1, M \neq 2$ . ЛП алгоритм модифицированной процедуры КИ отличается формированием шаблона  $W$  и требует отдельного рассмотрения.

**Выводы.** Предложен локально-параллельный вариант нечеткого алгоритма контрастной интенсификации. Отмечено, что алгоритм не нарушает нормальности, не смотря на субнормальность результата применяемой в нем процедуры локально-параллельного умножения. Представлено пошаговое описание алгоритма и тестовый пример. Обсуждены особенности его использования, в том числе модифицированный неравновесный вариант.

**Список литературы:** 1. Поспелов Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М.: Наука, 1986, 312 с. 2. Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Принцип локальной параллельности в задачах обработки нечеткой информации. Базовые операции // Доповіді НАН України. 1999. № 8. С. 71-75. 3. Михаль О.Ф., Руденко О.Г. Принцип локальной параллельности в задачах обработки нечеткой информации. Расширенный набор операций // Доповіді НАН України. 2000. № 1. С. 76-78.

УДК 681.327.12

Л. А. ФИЛИПКОВСКАЯ

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ

Одним из математических методов, имеющих существенное значение для управления и диагностики различных объектов (технических, медицинских, биологических, социально-экономических), описываемых наборами признаков (характеристик), измеряемых в разнотипных (количественных и качественных) шкалах, является структурно-аналитический метод распознавания образов [1]. Он используется в следующих основных направлениях: классификации объектов, состояний, процессов, протекающих во времени; диагностике – выбор одного или нескольких возможных состояний из заранее заданной конечной совокупности; оценке информативности отдельных признаков; прогнозировании.

В отличие от известных моделей распознавания структурно-аналитическая (СА) модель определяется обучающей выборкой (ОВ) и принятием гипотезы структурного образа. ОВ представляется в виде таблицы экспериментальных данных (ТЭД)  $T_{m,n,s}$ , а признаковая структура образа проявляется через свойства-предикаты (С-П).

Исходя из постановки задачи распознавания для одной ОВ можно построить несколько правил классификации (ПК), имеющих различную структурную сложность, которая определяется количеством терминальных С-П. Целесообразна задача оценки ПК в виде грамматики до ее восстановления. По существу эта постановка определяет экстремальную задачу поиска минимума целевой функции, заданной на грамматическом ПК.

ПК в виде грамматики восстанавливается по синтаксическому образцу (СО)  $S(m, M)$ . Он представляет собой бинарную таблицу, в которую по столбцам входят значения истинности отдельных С-П из заданной системы  $C = (f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_M(\bar{x}))$ , а строки соответствуют  $m$  фрагментам (группам) образов в пространстве признаков  $X^n$ .

Рассмотрим свойства синтаксического образца.

В [1] важнейшей характеристикой СО указывается его структурная полнота. Назовем структурно-полную систему (СПС) неизбыточной (НСПС), если при удалении хотя бы одного С-П условие структурной полноты нарушается.

В [1] введена величина оценки структурной полноты (ОСП)  $\bar{c}(\bar{f}^{(v)})$  системы  $C$ .

### Первое свойство. Наличие базовых терминальных С-П в СО.

Пусть  $T = \|t_{ij}\|_{m, M}$  – есть некоторая таблица из “0” (нулей) и “1” (единиц) с  $m$  строками и  $M$  столбцами, а  $\bar{T} = \{j_1, j_2, \dots, j_s\}$  – некоторый тест таблицы  $T$ . По определению теста для любой пары строк  $(i_\xi, i_\phi)$ ,  $1 \leq i_\xi < i_\phi \leq m$ , найдется такой столбец с номером  $j$ ,  $j \in \bar{T}$  что  $t_{i_\xi j} \neq t_{i_\phi j}$ . Составим множество всех таких столбцов и обозначим его  $\bar{T}_{i_\xi i_\phi}$ . Если из каждого множества взять хотя бы по одному представителю, то полученное таким образом множество номеров столбцов, очевидно, будет тестом. Если каждому столбцу с номером  $j$  поставим в соответствие булеву переменную  $x_j$ , а каждому множеству  $\bar{T}_{i_\xi i_\phi}$  – дизъюнкцию тех переменных  $x_j$ , индексы которых пробегают множество  $\bar{T}_{i_\xi i_\phi}$ , т.е. дизъюнкцию  $\bigvee_{j \in \bar{T}_{i_\xi i_\phi}} x_j$ , перемножим все полученные таким образом дизъюнкции и

уберем лишние по формуле  $AB \vee B = B$ , получим КНФ функции  $\bigwedge_{k|_z < l_q \leq m} \left( \bigvee_{j \in \bar{I}_{k|_z}^{l_q}} x_j \right)$ .

В [1] показано, что СПС  $S$  эквивалентна тесту, а НСПС - тупиковому тесту.

**Определение 1.** Набор терминальных С-П, который может входить во все тестовые группы СО, называется базовым набором для образования минимального теста.

На основании определения 1 и теории тестов можно доказать следующие утверждения.

*Утверждение 1.* Совокупность одночленных элементарных дизъюнкций КНФ образует базовый набор для формирования минимального теста СПС.

*Утверждение 2.* Чем длиннее базовый набор терминальных С-П содержит СО, тем больше длины тестовых групп этого СО.

*Утверждение 3.* Структурно полный С-П не обязательно является представителем базового набора для образования минимального теста.

*Утверждение 4.* Если СО обладает базовым набором для образования минимального теста и один из С-П СО является структурно полным, то этот С-П и только он образует этот базовый набор.

**Второе свойство. ОСП группы терминальных С-П синтаксического образца.**

Из определения структурной полноты системы  $S$  и ее возможной избыточности следует утверждение.

*Утверждение 5.* Если число классов равно 2 и каждый элемент системы  $S$  структурно полон, то и вся система  $S$  структурно полна.

Обратное утверждение неверно.

Исследована связь ОСП с качеством грамматического ПК, восстанавливаемого по СО. Сделаны следующие выводы:

1. Минимум функционала эмпирического риска обеспечивает величина ОСП системы  $S$  терминальных С-П, которую можно интерпретировать как частоту правильного распознавания объектов ОВ посредством ПК. Причем никакое ПК при заданной последовательности С-П  $S$  не может увеличить этой частоты.

2. Достижение задаваемой величины ОСП обеспечивает наиболее эффективное распознавание ОВ с помощью последовательности  $S$ .

3. ОСП СО отражает структуру фрагментов СО (степень различаемых строк СО). ОСП терминального С-П с увеличением частоты различаемых объектов растет при равномерном распределении "0" и "1" в синтаксическом столбце для всех  $z|_2$  и не согласуется с частотой объектов при выделении малочисленного класса в одну группу по отношению к остальным классам, вошедшим в другую группу;

4. Необходим критерий, делающий поправку ОСП на структуру фрагментов СО, то есть учитывающий равномерную распределенность "0" и "1" в синтаксическом столбце. Он должен отражать структуру грамматического ПК в виде бинарного дерева решений (БДР), в вершинах которого помещаются С-П.

В связи с последним замечанием актуально третье свойство СО.

**Третье свойство. Оценка разделяющей способности С-П группы  $s \geq 2$  классов примерно пополам.**

Оптимальным по быстродействию поиска решения и памяти хранения является полное БДР. Одна из характеристик БДР – число ярусов. Для БДР с  $l$  листьями число ярусов вычисляется по формуле  $d = \lfloor \log_2 l \rfloor$ . Полное БДР имеет сбалансированное число ярусов в левом и правом поддеревьях относительно каждой вершины.

Установим связь между характеристиками НСПС и структурой полного БДР.

*Утверждение 6.* Количество С-П  $n_f$  НСПС, необходимых для построения полного БДР по  $m$  фрагментам, принадлежащим  $s$  классам, изменяется в пределах  $M^* \leq \lceil \log_2 m \rceil \leq n_f \leq m-1$ , где

$M^*$  вычисляется по формуле  $M^* = \left\lfloor \frac{\sqrt{8s-7} - 1}{2} \right\rfloor$ .

*Утверждение 7.* НСПС при бесповторном вхождении С-П в полное БДР инвариантно перестановке местами С-П  $f_i$  и  $f_j$ , принадлежащих соответственно левому и правому поддеревьям относительно С-П  $f_{ij}$ .

*Утверждение 8.* Для НСПС при повторном вхождении С-П в дерево число ярусов всех полных БДР не уменьшается при перестановке С-П  $f_i$  и  $f_j$ , принадлежащих соответственно левому и правому поддеревьям относительно С-П  $f_{ij}$ .

Из утверждений 6-8 и алгоритмов построения БДР сбалансированное число ярусов в лево и правом поддеревьях относительно каждой вершины достигается, когда в качестве претендента в вершину БДР выбирается С-П, разделяющее группу классов примерно пополам. Для таких С-П сформулируем критерия «срединности».

*Определение 2.* Величина критерия «срединности» С-П  $f_i$ ,  $i = \overline{1, M}$ , для двух групп  $s$  классов вычисляется по формуле

$$KC(f_i) = \begin{cases} \frac{|s - 2 \max(\kappa_0, \kappa_1)|}{s}, & \text{если } \bar{c}(f_i) = 1, \\ \frac{|\kappa_0 - \kappa_1|}{s} + \frac{|s - 2 \max(\kappa_0, \kappa_1)|}{s}, & \text{если } \bar{c}(f_i) \neq 1, \end{cases}$$

где  $\kappa_0$  – число классов, все фрагменты которых имеют значение “0”,  $\kappa_1$  – число классов, все фрагменты которых имеют значение “1”,  $s$  – число классов.

Составляющие критерия “срединности” характеризуют эффект “срединности” по числу целых классов и равномогность двух групп  $s$  классов.

Тогда с учетом проведенных исследований и замечаний обобщенный критерий выбора С-П в вершину БДР можно представить выражением

$$R(f_i) = \begin{cases} \bar{c}(f_i) + [1 - KC(f_i)], & \text{если } \bar{c}(f_i) = 1 \text{ или } \bar{c}(f_i) \neq 1 \text{ и } KC(f_i) \in [0, 1), \\ \bar{c}(f_i) + \frac{[2 - KC(f_i)]}{2}, & \text{если } \bar{c}(f_i) = 1 \text{ и } KC(f_i) \in [1, 2]. \end{cases}$$

Величина  $R(f)$ ,  $i = \overline{1, M}$ , обладает следующими характеристиками:  $R(f) \in [0, 2]$  для  $f_i$ ,  $i = \overline{1, M}$ ; оптимальное значение  $R^*(f) = 2$ .

На основании приведенных теоретических основ анализа и обработки синтаксического образца разработаны алгоритмы поиска наборов оптимальных систем СО в случае их структурной полноты или с известной степенью диагностической способности (когда структурная полнота не достигнута). Обоснована сходимост такого поиска.

Тогда для получения эффективного ПК можно предложить решение трех подзадач:

1. Исследование критериев качества терминальных С-П СО.
2. Поиск оптимальных структурно-полных систем С-П СО.
3. Построение эффективного грамматического ПК.

Таким образом, задача построения оптимальной грамматики образов поставлена как экспериментальная задача минимизации функции ошибки дерева решений, связанного с грамматикой. Исходная задача декомпозируется на три исследовательские подзадачи локальной оптимизации.

Проведенная работа легла в основу создания методики анализа экспериментальных данных и решения практических задач управления технологическими процессами и медицинской диагностики [2].

**Список литературы:** 1. Сироджа И.Б. Предварительная оценка структурной сложности СА-моделей классификации до их восстановления по синтаксическому образцу // Математические методы анализа динамических систем. Харьков, 1983. Вып.7. С.106-112. 2. Сироджа И.Б., Звягинцева Т.Д., Филипповская Л.А. Структурно-аналитический метод распознавания образов для решения задач в гепатологии // “Проблемы бионики”: Украинский науч.-техн. межвед. сб. 1993. Вып. 48. С.134-138 (по материалам международной конференции).

Поступила в редколлегию 10.08.2000

С. А. СЕРИКОВ

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

При решении многих технических задач возникает необходимость в моделировании динамических объектов и их реакций на задающие и возмущающие воздействия в реальном масштабе времени. При этом построение адекватной математической модели на основе аппарата интегродифференциального исчисления часто оказывается невозможным в силу сложности самого объекта или большого количества влияющих факторов.

Наиболее продуктивным подходом к решению таких задач может оказаться применение вычислительных алгоритмов на базе искусственных нейронных сетей (ИНС). Важной особенностью ИНС является то, что для их успешного применения достаточно предположения о существовании некоторой функциональной зависимости между входными воздействиями и реакцией объекта на эти воздействия. При этом обучение сети проводится по некоторым формальным правилам, не требующим тщательного анализа динамических характеристик объекта и свойств внешних воздействий [1].

Однако, при практическом использовании ИНС для решения такого класса задач, помимо стандартных трудностей, связанных с неопределенной длительностью процесса обучения, попаданием в локальные минимумы или паралича сети, возникают сложности, связанные с обучением в постоянно изменяющейся внешней среде, когда невозможно сформировать конечное множество обучающих векторов.

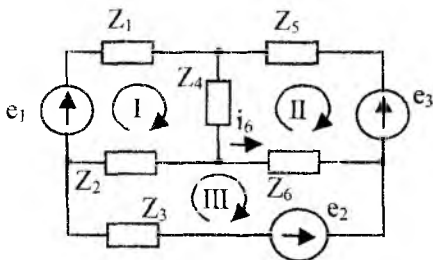


Рис. 1

Данная статья посвящена экспериментальному исследованию процесса моделирования линейных динамических объектов при случайных воздействиях при помощи трехслойной ИНС с линейной и сигмовидной активационными функциями нейронов скрытого слоя. При этом в качестве объекта моделирования взята линейная электрическая цепь, приведенная на рис. 1.

Входными сигналами данной цепи будем считать источники ЭДС  $e_1(t)$ ,  $e_2(t)$  и  $e_3(t)$ , ЭДС которых меняется по случайному закону. Для дискретного времени  $t = n \cdot \Delta t$  входные

сигналы  $e_m(n \cdot \Delta t)$ , где  $m = 1 \dots 3$  получим, пропустив выходной сигнал генератора случайных чисел в диапазоне от  $-100$  до  $100$  через шесть последовательно соединенных цифровых фильтров вида

$$y_n = \frac{1}{64} \cdot \sum_{p=0}^{63} x_{n-p} \tag{1}$$

где  $x_n$  и  $y_n$  – входные и выходные сигналы фильтров соответственно.

В качестве выходного сигнала электрической цепи примем ток  $i_6(t)$ , протекающий через сопротивление  $Z_6$ .

Предположим, что  $Z_1 - Z_6$  представляют собой активные сопротивления  $R_1 - R_6$ . В этом случае ток через  $R_6$  можно определить, пользуясь методом контурных токов:

$$i_6(t) = \frac{e_1(t) \cdot (A_{1,2} - A_{1,3}) - e_2(t) \cdot (A_{2,2} - A_{2,3}) - e_3(t) \cdot (A_{3,2} - A_{3,3})}{\Delta}, \tag{2}$$

где  $\Delta = \begin{vmatrix} R_1 + R_4 + R_2 & -R_4 & -R_2 \\ -R_4 & R_3 + R_4 + R_6 & -R_6 \\ -R_2 & -R_6 & R_3 + R_2 + R_6 \end{vmatrix}$  – определитель матрицы сопротивлений;  $A_{1,2}, A_{1,3}, A_{2,2},$

$A_{2,3}, A_{3,2}, A_{3,3}$  – алгебраические дополнения соответствующих элементов матрицы сопротивлений.

На рис. 2 приведены входные сигналы  $e_m(n \cdot \Delta t)$ , [В] и выходной сигнал  $i_o(nDt)$ , [А] электрической цепи. При расчетах предполагалось, что  $R_1=1 \text{ Ом}$ ,  $R_2=5 \text{ Ом}$ ,  $R_3=3 \text{ Ом}$ ,  $R_4=4 \text{ Ом}$ ,  $R_5=2 \text{ Ом}$ ,  $R_6=6 \text{ Ом}$ ,  $Dt=0,1 \text{ мс}$ .

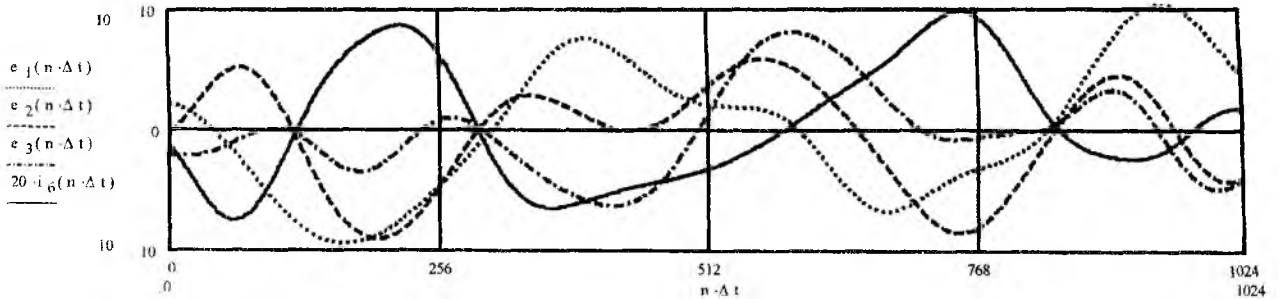


Рис. 2

Рассмотрим прямонаправленную трехслойную ИНС со структурой, приведенной на рис.3.

Сеть имеет 3 входных нейрона,  $N$  нейронов скрытого слоя и 1 выходной нейрон с линейной активационной функцией. Активационная функция нейронов скрытого слоя может иметь линейную либо сигмоидальную характеристику. Входные нейроны служат лишь для распределения входных сигналов между нейронами скрытого слоя. Они имеют линейные активационные функции.

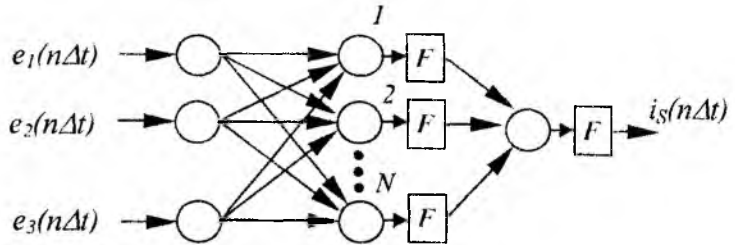


Рис. 3

На вход сети подадим те же сигналы, что подавались нами на входы электрической цепи. В этом случае выходной сигнал сети:

$$i_s(n \cdot \Delta t) = I(n \cdot \Delta t) \cdot W2 \quad , \quad (3)$$

где  $I(n \cdot \Delta t) = \|i_1(n \cdot \Delta t) \quad i_2(n \cdot \Delta t) \quad \dots \quad i_N(n \cdot \Delta t)\| = F(E(n \cdot \Delta t) \cdot W1)$  – вектор выходных сигналов нейронов скрытого слоя;  $E(n \cdot \Delta t) = \|e_1(n \cdot \Delta t) \quad e_2(n \cdot \Delta t) \quad e_3(n \cdot \Delta t)\|$  – вектор входных воздействий в момент времени  $n \cdot \Delta t$ ;

$W1 = \begin{pmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,N} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,N} \\ w_{3,1} & w_{3,2} & \dots & w_{3,N} \end{pmatrix}$  – матрица связей нейронов скрытого слоя;  $w_{m,k}$  – вес связи  $k$ -го нейрона скрытого слоя с  $m$ -м входным нейроном;

$F(W) = W = \|w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_N\|$  – если активационная функция нейронов скрытого слоя линейная,

$F(W) = \left\| \frac{1}{1 + \exp(-w_1)} - 0.5 \quad \dots \quad \frac{1}{1 + \exp(-w_N)} - 0.5 \right\|$  – если активационная функция нейронов скрытого слоя сигмоидальная;

$W2 = \|w_{2,1} \quad w_{2,2} \quad \dots \quad w_{2,N}\|^T$  – матрица связей выходного нейрона с нейронами скрытого слоя.

Зададим случайные веса связей всех нейронов в диапазоне  $-0,01 \dots 0,01$ . В этом случае выходной сигнал сети будет случайным.

Для обучения сети моделированию работы заданной электронной схемы применим метод обратного распространения ошибки. На каждом шаге вычислений  $n$  будем определять ошибку сети

$$\delta 2(n)=i_6(n \cdot \Delta t)-i_5(n \cdot \Delta t) \quad (4)$$

и ошибки нейронов скрытого слоя  $\delta 1_k(n)$ , где  $k=1 \dots N$  :

$$\delta 1_k(n)=\delta 2(n) \cdot w 2_k(n) \quad (5)$$

– для линейной активационной функции, и

$$\delta 1_k(n)=\delta 2(n) \cdot w 2_k(n) \cdot\left(i_k(n \cdot \Delta t)+0,5\right)\left(0,5-i_k(n \cdot \Delta t)\right) \quad (6)$$

- если активационная функция нейронов скрытого слоя сигмоидальная.

После этого будем корректировать веса связей нейронов каждого слоя:

$$w 2_k(n+1)=w 2_k(n)+g \cdot \delta 2(n) \cdot i_k(n \cdot \Delta t) ; \quad (7)$$

$$w 1_{m, k}(n+1)=w 1_{m, k}(n)+g \cdot \delta 1_k(n) \cdot e_m(n \cdot \Delta t), \quad (8)$$

где  $g$  – коэффициент, определяющий скорость обучения сети.

Процесс обучения ИНС моделированию заданной электрической цепи демонстрирует рис.4.

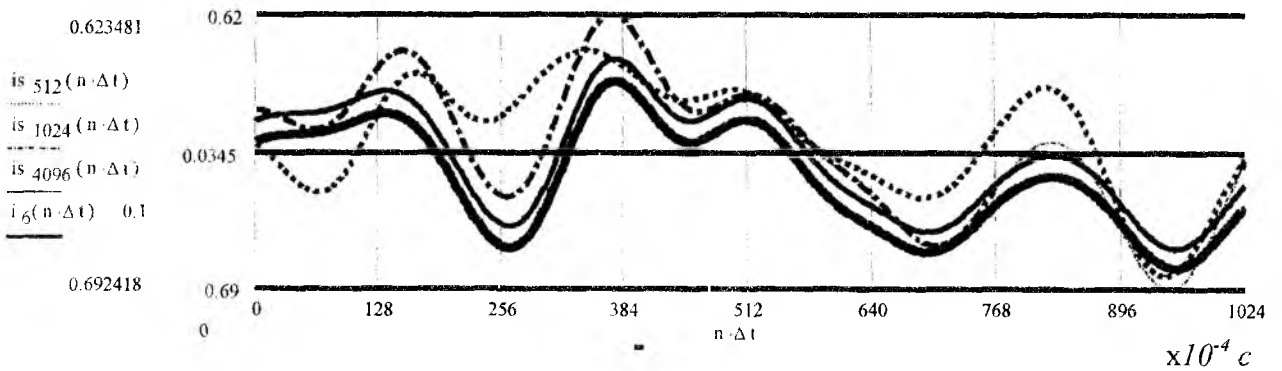


Рис. 4

Здесь приведен случайный выходной сигнал электрической цепи  $i_6(nDt)$ , который не применялся при обучении сети, а также сигналы  $is_M(nDt)$ , полученные на выходе ИНС при различной продолжительности обучения  $M$ . При этом сеть имела 8 нейронов с линейными активационными функциями в скрытом слое, а скорость обучения  $g$  была принята 0,01. На рисунке для удобства выходной сигнал электрической цепи смещен по вертикали.

На рис. 5 и 6 приведены соответственно семейства зависимостей математического ожидания и среднеквадратического отклонения ошибки сети от длительности обучения при количестве нейронов в скрытом слое равном 8, 16 и 32 при линейной и сигмоидальной активационной функции нейронов скрытого слоя.

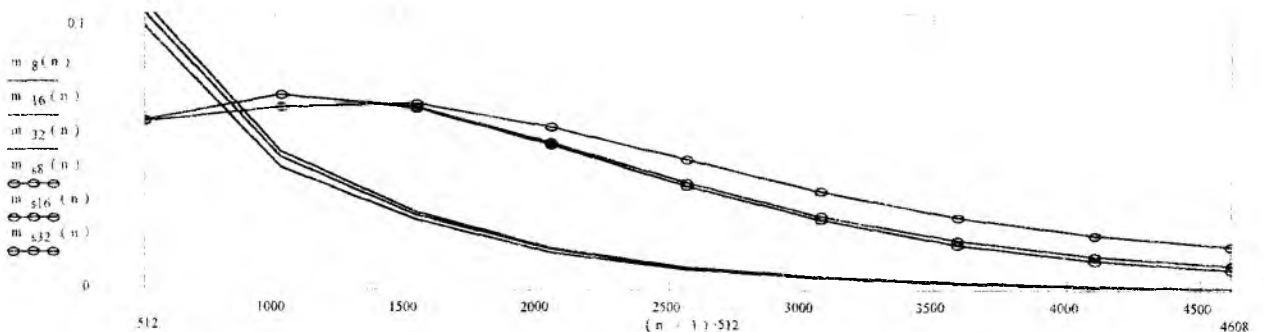


Рис. 5

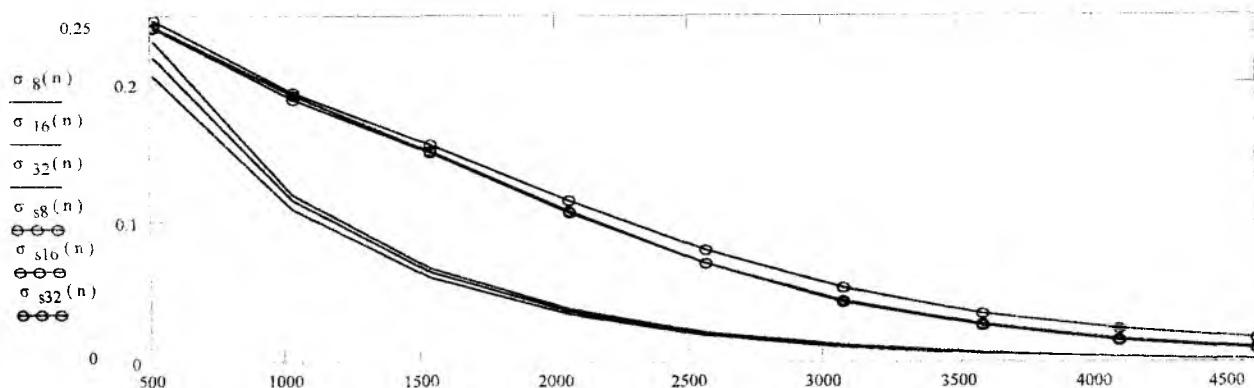


Рис. 6

Оценка математического ожидания ошибки осуществлялась согласно выражению

$$m = \frac{1}{1024} \cdot \sum_{n=1}^{1024} (i_6(n \cdot \Delta t) - i_S(n \cdot \Delta t)). \quad (9)$$

Для оценки среднеквадратического отклонения ошибки использовалось выражение

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1023} \cdot \sum_{n=1}^{1024} ((i_6(n \cdot \Delta t) - i_S(n \cdot \Delta t)) - m)^2}. \quad (10)$$

Оценка статистических характеристик ошибки проводилась для входных сигналов, которые не использовались при обучении сети.

Анализируя рис. 5 и 6 можно сделать вывод, что обучение сети слабо зависит от количества нейронов в скрытом слое. При этом сеть с линейной активационной функцией нейронов быстрее обучается моделированию предложенной электрической цепи, и ее ошибка асимптотически стремится к нулю. В то время, как сеть с сигмоидальной активационной функцией нейронов скрытого слоя имеет остаточную ошибку, которая больше при минимальном количестве нейронов.

В том случае, если в качестве сопротивления  $Z_4$  в схему включена индуктивность  $L$ , а в качестве  $Z_2$  – ёмкость  $C$ , цепь описывается системой дифференциальных уравнений I порядка, которую можно записать в матричном виде [2]

$$\frac{d}{dt} X(t) = A \cdot X(t) + B \cdot U(t), \quad (11)$$

где  $X(t) = [i_L(t), u_C(t)]^T$  – вектор состояния цепи;  $U(t) = [e_1(t), e_2(t), e_3(t)]^T$  – вектор внешних воздействий;

$$A = \begin{bmatrix} \frac{R_1 R_5 R_3 + R_1 R_3 R_6 + R_1 R_5 R_6}{\Re \cdot L} & \frac{R_1 R_6 + R_5 R_3 + R_5 R_6 + R_3 R_6}{\Re \cdot L} \\ \frac{R_1 R_6 + R_5 R_3 + R_5 R_6 + R_3 R_6}{\Re \cdot C} & \frac{R_1 + R_5 + R_3}{\Re \cdot C} \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{R_5 R_3 + R_5 R_6 + R_3 R_6}{\Re \cdot L} & \frac{R_1 R_3 + R_1 R_6}{\Re \cdot L} & \frac{R_1 R_6}{\Re \cdot L} \\ \frac{R_3}{\Re \cdot C} & -\frac{R_3}{\Re \cdot C} & \frac{R_1 + R_5}{\Re \cdot C} \end{bmatrix}; \quad \Re = R_5 R_3 + R_5 R_6 + R_3 R_6 + R_1 R_3 + R_1 R_6.$$

Решение уравнения (11) для дискретного времени  $t = n \cdot \Delta t$  можно записать в виде:

$$X((n+1) \cdot \Delta t) = \exp(A \cdot \Delta t) \cdot X(n \cdot \Delta t) + (\exp(A \cdot \Delta t) - E) \cdot A^{-1} \cdot B \cdot U(n \cdot \Delta t) \quad (12)$$

где  $E$  – единичная матрица той же размерности, что и  $A$ .

Определив из выражения (24) значения  $i_L(n \cdot \Delta t)$  и  $u_C(n \cdot \Delta t)$  можно найти ток  $i_6$ .

$$i_6(n\Delta t) = \frac{R_1 R_3 \cdot i_L(n\Delta t) + (R_1 + R_3 + R_5) \cdot u_C(n\Delta t)}{\mathfrak{R}} - \frac{R_3 \cdot e_1(n\Delta t) + R_3 \cdot e_2(n\Delta t) - (R_1 + R_2) \cdot e_3(n\Delta t)}{\mathfrak{R}} \quad (13)$$

Особенностью данной электрической цепи является то, что выходной ток  $i_6(n \cdot \Delta t)$  зависит не только от комбинации входных сигналов  $e_m(n \cdot \Delta t)$ , где  $m = 1 \dots 3$ , в данный момент времени, но и от состояния самой цепи  $X(n \cdot \Delta t)$ , которое сформировалось под воздействием входных сигналов за предыдущий период. В силу этого рассмотренные ранее нейронные сети не могут обучиться моделированию линейных электрических цепей, содержащих элементы, накапливающие энергию.

Очевидными являются два способа модификации сетей для решения подобных задач: подача на вход сети помимо входных сигналов еще и их производных различного порядка и введение обратной связи по выходному сигналу сети и его производным.

В качестве производных от сигналов для упрощения вычислений будем использовать обратные разности первого и второго порядка, которые вычисляются согласно выражениям

$$\Delta x(n \cdot \Delta t) = x(n \cdot \Delta t) - x((n - d) \cdot \Delta t); \quad (14)$$

$$\Delta^2 x(n \cdot \Delta t) = x(n \cdot \Delta t) - 2 \cdot x((n - d) \cdot \Delta t) + x((n - 2 \cdot d) \cdot \Delta t), \quad (15)$$

где величину  $d$  примем равной 10.

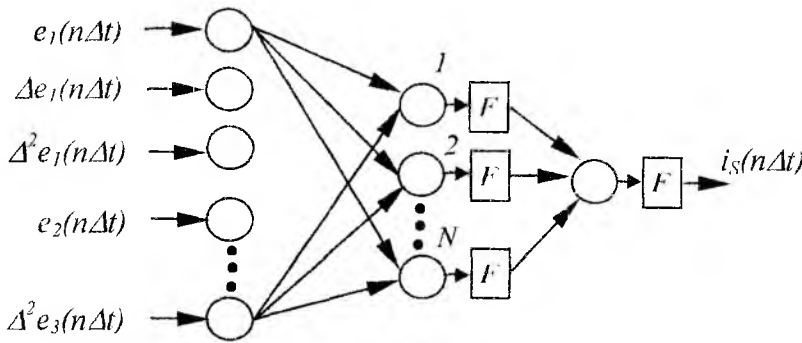


Рис. 7

На рис. 7 приведена схема ИНС, в которой на входной слой нейронов помимо входных сигналов  $e_m(n \cdot \Delta t)$  подаются их обратные разности первого  $\Delta e_m(n \cdot \Delta t)$  и второго  $\Delta^2 e_m(n \cdot \Delta t)$  порядков, где  $m = 1 \dots 3$ .

Выходной сигнал данной ИНС может быть получен из выражения, которое отличается от (3) только количеством элементов вектора входных воздействий

$$E(n \cdot \Delta t) = \left\| \begin{matrix} e_1(n\Delta t) & \Delta e_1(n\Delta t) & \Delta^2 e_1(n\Delta t) & e_2(n\Delta t) & \dots & \Delta^2 e_3(n\Delta t) \end{matrix} \right\|, \quad (16)$$

а также количеством строк в матрице связей нейронов скрытого слоя  $WI$ , которое теперь будет равно 9 по количеству сигналов, подаваемых на вход ИНС.

Для обучения сети моделированию работы заданной электрической цепи применим метод обратного распространения ошибки, рассмотренный выше. Однако при вычислении ошибки здесь необходимо учесть некоторое опережение выходного сигнала сети  $\mathfrak{Z} = K \cdot \Delta t$  по отношению к выходному сигналу электрической цепи. Поэтому выражение (4) трансформируется к виду:

$$\delta 2(n) = i_6(n \cdot \Delta t) - i_S((n - K) \cdot \Delta t). \quad (17)$$

Время опережения  $\mathfrak{Z}$  примем равным постоянной времени моделируемой электрической цепи. В этом случае его можно определить как время, в течение которого выходной сигнал цепи достигнет величины 63% от своего установившегося значения при входных сигналах  $e_m(n \cdot \Delta t)$ , где  $m = 1 \dots 3$ , представляющих собой единичные функции. Для случая, когда  $L=40 \text{ мГн}$ ,  $C=50 \text{ мкФ}$ ,  $\Delta t=0,1 \text{ мс}$  вре-

мя опережения составит  $\mathfrak{Z} = 5,2$  мс и соответственно  $K=52$ .

Время опережения  $\mathfrak{Z}$  необходимо также учитывать при определении статистических характеристик ошибки, в результате чего выражения (9 и 10) для оценок математического ожидания и среднеквадратического отклонения примут вид:

$$m = \frac{1}{1024} \cdot \sum_{n=1}^{1024} (i_6(n \cdot \Delta t) - i_S((n-K) \cdot \Delta t)), \quad (18)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{1023} \cdot \sum_{n=1}^{1024} ((i_6(n \cdot \Delta t) - i_S((n-K) \cdot \Delta t)) - m)^2}. \quad (19)$$

Математические ожидания  $m_e$  и среднеквадратические отклонения  $\sigma_e$  ошибки данной сети при линейной и сигмовидной активационной функции нейронов скрытого слоя при  $N=8, 16$  и  $32$ , полученные согласно выражениям (18, 19) соответственно, после  $n$  циклов обучения приведены на рис. 8.

Из приведенных зависимостей видно, что при моделировании RLC – цепи, даже после длитель-

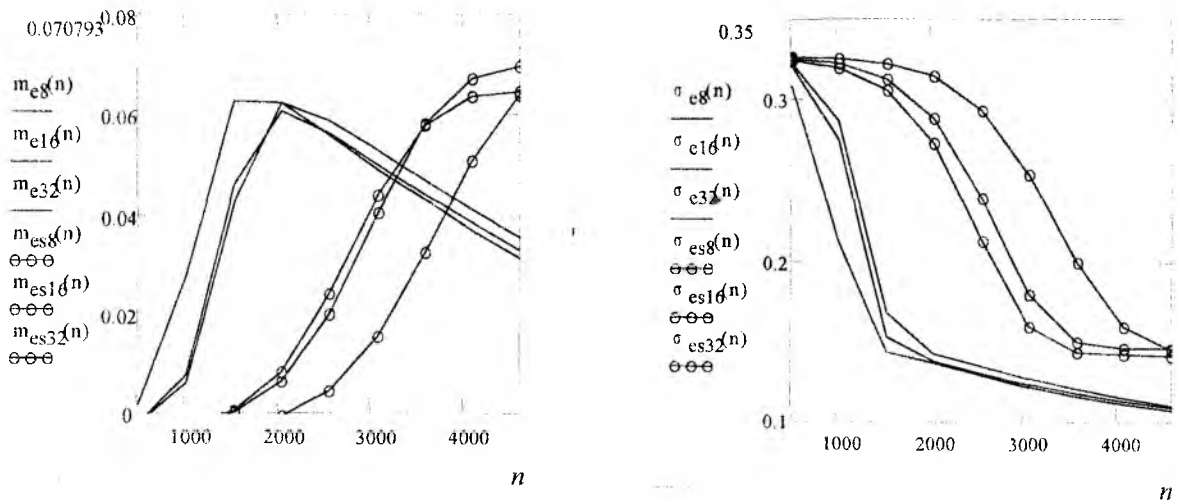


Рис. 8

ного обучения, сеть имеет некоторую остаточную ошибку. При этом у сети с линейной активационной функцией скорость обучения выше, а остаточная ошибка моделирования меньше, чем у сети с сигмоидальной активационной функцией нейронов скрытого слоя.

На рис. 9 приведена схема ИНС, в которой на входной слой нейронов помимо входных сигналов  $e_m(n \cdot \Delta t)$ , где  $m = 1 \dots 3$  подаются предыдущий отсчет выходного сигнала сети  $i_S((n-1) \cdot \Delta t)$ , а также его обратные разности первого  $\Delta i_S((n-1) \cdot \Delta t)$  и второго  $\Delta^2 i_S((n-1) \cdot \Delta t)$  порядков.

При определении каждого отсчета выходного сигнала  $i_S(n \cdot \Delta t)$  данной ИНС будем подставлять в

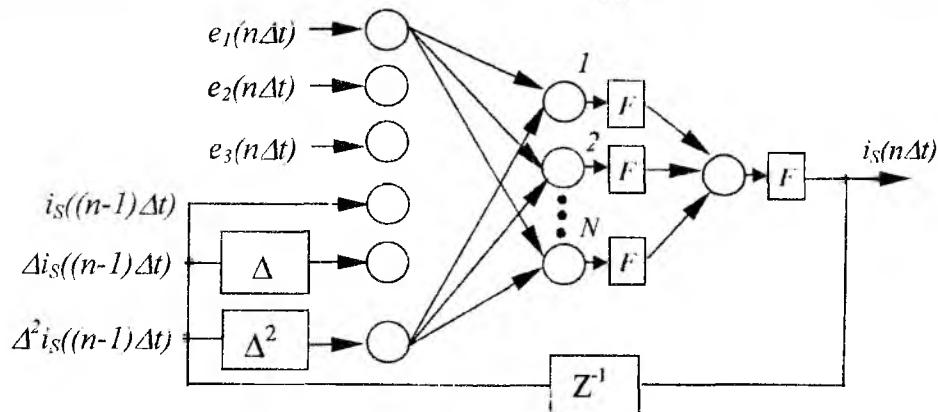


Рис. 9

вектор входных воздействий  $E(n \cdot \Delta t)$  значение предыдущего отсчета выходного сигнала сети, а также его обратные разности первого и второго порядков, определенные для предыдущего отсчета. При этом количество элементов вектора входных воздействий и, соответственно, количество строк в матрице связей нейронов скрытого слоя окажется равным 6.

Для обучения данной ИНС по-прежнему будем применять метод обратного распространения ошибки с учетом опережения выходного сигнала сети  $\zeta$  по отношению к выходному сигналу электрической цепи.

На рис. 10 представлены математические ожидания  $m_i$  и среднеквадратические отклонения  $\sigma_i$  ошибки данной сети после  $n$  циклов обучения при линейной и сигмоидальной активационных функциях нейронов скрытого слоя при  $N=8, 16$  и  $32$ , полученные согласно выражениям (18, 19) соответственно.

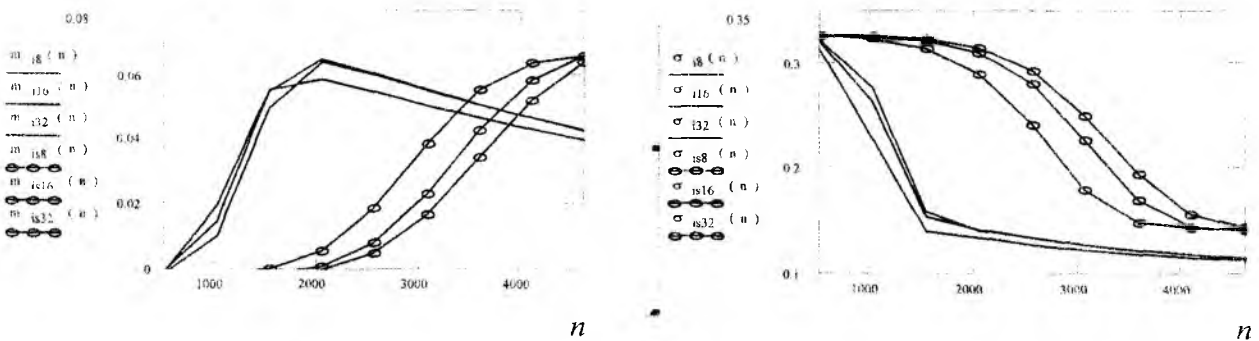


Рис. 10

Из приведенных зависимостей видно, что способность к обучению моделированию RLC – цепи сети с обратными связями незначительно отличается от сети со структурой, приведенной на рис. 7.

На рис. 11 представлены зависимости математического ожидания  $m_{ei}$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_{ei}$  ошибки сети, сочетающей в себе структурные особенности сетей, приведенных на рис. 7 и рис. 9, от количества циклов обучения  $n$ .

Вектор входных воздействий такой сети будет включать, помимо собственно входных воздействий, их обратные разности I и II порядка, а также предыдущий отсчет выходного сигнала и его обратные разности I и II порядка. Рассматриваемая ИНС имела  $N = 8, 16$  и  $32$  нейронов с линейной активационной функцией в скрытом слое.

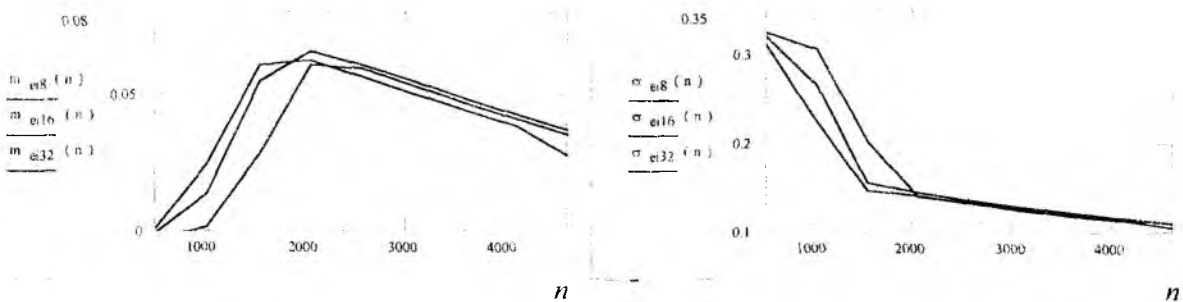


Рис. 11

Результаты моделирования RLC – цепи, которая описывается выражением (18), при случайных входных воздействиях нейронными сетями каждой из рассмотренных структур с 16 нейронами в скрытом слое после 10240 циклов обучения демонстрирует рис. 12.

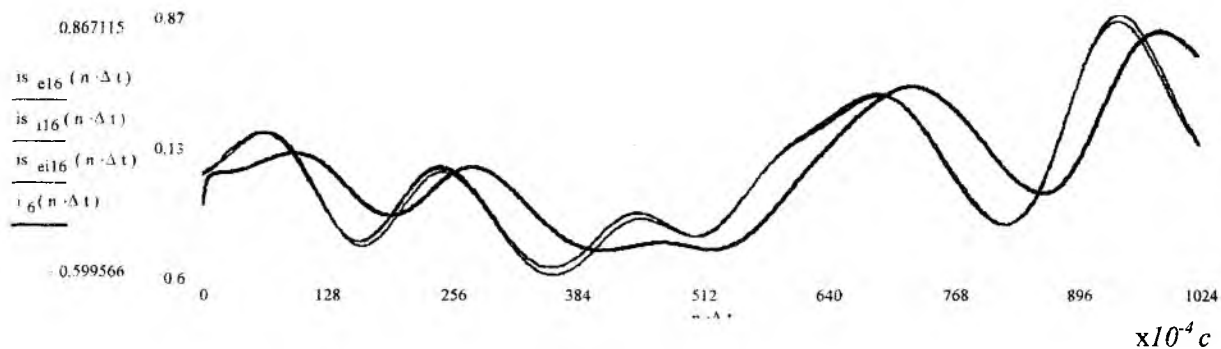


Рис. 12

На рисунке хорошо заметно опережение  $\mathfrak{Z}$  выходных сигналов ИНС по отношению к сигналу  $i_6(n \cdot \Delta t)$ , получаемому на выходе RLC – цепи. При этом сами выходные сигналы обученных ИНС различной структуры при одинаковых входных сигналах практически совпадают. Это говорит о том, что каждая из ИНС в результате обучения построила адекватную модель заданной цепи. Погрешности моделирования, также хорошо заметные на рис. 12, вероятно обусловлены в основном неточностью представления характера входных и выходных сигналов при помощи обратных разностей в процессе обучения сетей.

### Выводы

Полученные экспериментальные результаты говорят о том, что для идентификации динамических объектов, которые описываются системой линейных дифференциальных уравнений, в реальном масштабе времени могут быть использованы трехслойные ИНС с линейной либо сигмоидальной активационной функцией нейронов скрытого слоя. При этом обобщающая способность таких сетей оказывается достаточной для моделирования работы динамических объектов при незнакомых входных сигналах с приемлемой точностью. Обучение сети может проводиться в процессе функционирования моделируемого объекта при случайных входных сигналах.

Способность ИНС к адаптации к изменяющимся характеристикам моделируемого объекта ограничивается скоростью обучения сети, которая для рассматриваемых случаев составила 2000-3000 циклов (при линейной активационной функции всех нейронов). Для увеличения скорости обучения и уменьшения остаточной ошибки сети необходимо оптимизировать ее структуру и алгоритм обучения.

**Список литературы:** 1. Вороновский Г.В., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. Харьков: Основа, 1997. 111 с. 2. Крылов В.В., Корсаков С.Я. Основы теории цепей для системотехников: Учеб. пособие для ВУЗов. М.: Высш. шк., 1990. 224 с.

Поступила в редколлегию 13.10.2000

УДК 621.865.8

С. А. НЕСТЕРЦОВА, О. В. ПОПОВА, А. М. ЦЫМБАЛ

## РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПЛАНОВ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТА НА ЯЗЫКЕ C++

Система управления интеллектуальным роботом должна обладать механизмами разрешения задач, возникающих в результате деятельности такого робота. При этом сложность реализации такого решателя задач естественно зависит от сложности предметного пространства, в котором интеллектуальный робот функционирует. Однако существуют и общие для всех такого рода программ особенности, составляющие суть исследований в данной области искусственного интеллекта.

В литературе хорошо описана схема интеллектуального решателя STRIPS, разработанного еще в начале 70-х. Проблемная среда STRIPS включает модель мира, набор операторных схем и цель. Модель мира представляется в виде набора правильно построенных формул (ППФ) логики предикатов первого порядка, которые выражают собой факты и законы. Операторная схема определяется наименованием, списком параметров и описаниями в виде ППФ языка логики предикатов первого порядка: условий применения действия и результата действия. Результата действия содержит список вычеркиваний и список добавлений. Операторы порождают различные модели мира путем генерирования новых фактов. Цель также представляется в виде ППФ той же логики [1,2].

Пример реализации системы разработки планов на Turbo-Prolog приведен в [3]. Описанная система решала задачу принятия решений интеллектуальным роботом в замкнутом предметном пространстве при ограниченном наборе связанных с пространством событий.

В силу распространенности и универсальности такого языка как C++, разумно рассмотреть реализацию системы разработки планов с позиций C++.

Прежде всего, следует говорить о разработке класса, который обеспечивал бы всю работу программы с базой данных. Работа с базой данных являлась и основной особенностью программы на Turbo-Prolog. В класс включаются компоненты, несущие информацию об именах отношений, описывающих базу данных, действующий объект отношения и, соответственно, субъекты применения действия объекта.

Как и в [1], рассматривается замкнутое пространство объектов и событий, состоящее из следующего набора: комнаты; двери, соединяющие комнаты; ящики в комнатах; робот, перемещающийся из комнаты в комнату и осуществляющий действия.

Например, факт наличия ящика box1 в комнате room1 будет описываться как:

```
dbfact("is_in", "box", "room1", NULL, aN),
```

где «is\_in» - имя отношения, «box» - объект; room1 – имя субъекта; NULL – указатель на отсутствующий (для данного случая) субъект, aN – указатель на следующий в цепочке описания факта базы данных (база данных реализована связанным списком). В соответствии с описанием факта в классе реализованы соответствующие конструкторы.

Общий вид класса можно описать следующим образом:

```
class dbfact {char *relname, *agent, *sobj1, *sobj2;
    dbfact *next;
public:
    dbfact(...); // перегружен
    void print();
    dbfact *dataformer();
    dbfact *addfact(...); // перегружен
    int dbtest(...); // перегружен
    dbfact *delfact(...); // перегружен
    dbfact *findfact(...); // перегружен
    void deciser();
```

```
char *findaction();
void support_action(char *);
void old_cleaner(char *);
void new_adder(char *);
};
```

Таким образом в одном классе реализованы все функции работы с базой данных программы. Введение класса упрощает многие процедуры обработки данных

Для упрощения доступа, база данных объявлена глобальной в виде указателя evil на связанный список, реализующий хранение данных.

Теперь об описании собственно программы. Функция main() описана следующим образом:

```
void main()
{dbfact *goal; // объявление переменной целевого факта
evil = evil -> dataformer(); // заполнения базы данных программы
goal= new dbfact("is_at", "robot", "door23",NULL);
// пример постановки задачи в программе
goal-> deciser(); // вызов механизма принятия решений для
// поставленной задачи
}
```

Таким образом, для сформированного целевого файла будеи вызвана процедура генерации планов.

Функция нахождения решения реализована так:

```
void dbfact::deciser()
{if(!evil->dbtest(relname,agent,sobj1,sobj2))
{char *action=find_action();
support_action(action);
cout << «\n\n Action : « << action;getch();
old_cleaner(action);
new_adder(action);
}}
```

Работает функция deciser() следующим образом. Первоначально осуществляется проверка – существует ли уже в базе данных принятый к рассмотрению факт – проверка dbtest(...). Если таковой существует в базе, в процессе нахождения решений нет необходимости и мы возвращаемся в точку вызова решателя. Если же факта нет, необходимо найти такое действие, которое могло бы потенциально такой факт обеспечить. С этой целью запускается функция find\_action(), которая должна найти необходимое действие. В принципе, одного нахождения имени действия явно мало, и поэтому следующий шаг – вызов support\_action(action) собственно решает задачу реальной реализации действия action. Две следующие функции old\_cleaner(action) и new\_adder(action) обеспечивают необходимую обработку базы данных программы.

Нахождение необходимого имени действия реализовано следующим образом. Например, поставлена цель – «открыть дверь door 12». Здесь необходимы следующие проверки: во-первых, проверить, действительно ли объект door12 дверь (т.е. может ли быть к нему применена операция «открыть») и во-вторых - проверить факт, альтернативный постановке задачи, (т.е. закрытое состояние двери). При позитивном результате таких проверок возвращается имя действия.

Пример реализации (для действия «открыть дверь»):

```
char *dbfact::find_action()
{if(evil->dbtest(«is_a»,agent,»door») &&
evil->dbtest(«stands»,agent,»closed»))
return «open_door»;
// описания для других действий
else return «No action expected»;
}
```

Когда имя целевого (т.е., необходимого для обеспечения поставленной цели) действия найдено, следует обеспечить поддержку решения. Например, чтобы закрыть (открыть) дверь, нужно как минимум, возле нее находиться.

Функция `support_action(char)` обеспечивает необходимый поддерживающий набор действий.

Пример реализации:

```
void dbfact::support_action(char *action)
{ if(!(strcmp(action, «open_door»)))
  {dbfact *subgoal=new dbfact(«is_at», «robot»,agent,NULL);
  subgoal->deciser();}
  .....
}
```

В функцию передается имя действия. Каждому действию соответствует свой «поддерживающий набор».

Если имя такого набора и переданное в функцию имя действия совпадают, что обеспечивает функция проверки совпадения строк, объявляется подцель `subgoal`, специфичная для каждого набора поддержки. После этого, механизм принятия решений вновь (и теперь уже рекурсивно) вызывается для подцели (подцелей). Он будет следовать аналогичной рассматриваемой схеме. Как только весь поддерживающий набор выполнен, можно считать, что действие полностью «подготовлено» и следует лишь удалить устаревшие по завершению действия факты и добавить набор фактов, характеризующий возникшую по завершению действия новую предметную ситуацию. Это событие характеризуется функциями `new_adder(...)` и `old_cleaner(...)`.

Пример реализации:

```
void dbfact::old_cleaner(char *action)
{if(!(strcmp(action,»open_door»)))
  {evil->delfact(«stands»,agent,»closed»,NULL);}
  .....
}
void dbfact::new_adder(char *action)
{ if(!(strcmp(action,»open_door»)))
  {evil=evil->addfact(«stands»,agent,»opened»,NULL);}
  .....
}
```

Собственно, эти функции распределяют, в соответствие с каким действием какие факты необходимо соответственно удалить и добавить, а реальное удаление и добавление осуществляется функциями `del_fact(...)` и `add_fact(...)`, которые выполняют нужную работу со связанным списком базы данных.

Среди реализованных в системе действий описаны действия робота: закрыть дверь, открыть дверь, перейти к объекту, толкать объект, перейти в комнату.

Развитием описанной программы является ее реализация в графической среде программирования. Планируется расширить круг решаемых задач, разработать более эффективные схемы нахождения решений.

Материалы статьи использованы авторами при проведении занятий для студентов ХТУРЭ 4-го курса направления «Компьютеризированные системы управления и автоматики».

**Список литературы:** 1. Ефимов Е.И. Решатели интеллектуальных задач М.: Наука, 1982. 320 с. 2. Нильсон Н. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1984. 362 с. 3. Цымбал А.М., Попова О.В. Реализация системы разработки планов на Turbo-Prolog // Авиационно-космическая техника и технология. Вып. 18. Харьков. Государственный аэрокосмический университет «ХАИ». 2000. С. 68-71.

Поступила в редколлегию 7.07.2000



Поджелудочная железа – второй по назначению орган в системе управления уровнем сахара. Она также обладает местным регулирующим механизмом: ее клетки непосредственно реагируют на гипергликемию секретацией инсулина.

К системе управления уровнем сахара относятся и почки, выполняющие функцию перепускного клапана. При уровне гликемии, превышающем 180 мг%, излишек глюкозы выводится наружу.

Некоторые исследователи к органам, непосредственно участвующим в регулировании уровнем сахара, относят мышечные ткани – основной потребитель глюкозы [1].

В понятие "подкорка" объединяются отделы головного мозга, связанные между собой нервными и эндокринными связями, обеспечивающими абсолютную согласованную деятельность. В подкорке расположены ядра парасимпатических нервов, которые иннервируют поджелудочную железу, возбуждая выделение инсулина (блуждающий нерв) с последующим снижением уровня сахара. Находящиеся здесь же ядра симпатических нервов связаны с надпочечниками, а возбуждение, передающееся по этим нервам, приводит к усилению секреции адреналина и повышению уровня сахара в крови.

Благодаря взаимосвязи между гипофизом и отделами головного мозга становится возможным взаимодействие нервной и эндокринной регуляцией. Гипофиз выделяет тропные гормоны, стимулирующие работу надпочечников и щитовидной железы.

Система управления уровнем сахара носит сложный и многоступенчатый характер. Для выявления механизма взаимодействия между элементами системы и осуществления коррекции ее функционирования посредством внешнего управления может использоваться математическое моделирование, основанное на теоретических данных и экспериментальном материале.

В общем случае, когда учитывается влияние всех органов, математическая модель системы регуляции сахара может быть представлена в виде [2]:

$$\frac{dy_1}{dt} = \begin{cases} k_1 g^{(1)} - a_1 y_1, & 0 \leq t \leq \tau \\ -a_1 y_1, & t > \tau \end{cases}, \quad (1)$$

$$\frac{dy_2}{dt} + a_4 y_2 = -a_2 (y - y_H) + a_3 y_1 - b_1 i + c_1 x, \quad (2)$$

$$\frac{di}{dt} + b_2 i = a_5 (y - y_H), \quad y - y_H > 0, \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} + c_2 x = a_6 (y - y_H), \quad y - y_H < 0, \quad (4)$$

$$\frac{dy_3}{dt} + a_8 y_3 = a_7 (y - y_3) + b_3 i + b_5 i_1, \quad (5)$$

$$\frac{di_1}{dt} + b_6 i_1 = \begin{cases} k_2 i_1^{(1)}, & 0 \leq t \leq \tau \\ 0, & t > \tau \end{cases}, \quad (6)$$

$$y = y_H + y_2 - y_3, \quad (7)$$

где  $y_1$  – изменение концентрации сахара в воротной вене;  $g_1$  – скорость всасывания глюкозы из кишечника в вену,  $\tau$  – время всасывания глюкозы в кишечнике;  $\frac{dy_2}{dt}$  – изменение сахара в печеночной вене,  $y$  – текущий уровень сахара,  $y_H$  – среднефизиологический уровень сахара,  $i$  – количество инсулина, поступающего в печень;  $x$  – текущая концентрация адреналина; в крови;  $\frac{dy_3}{dt}$  – изменение глюкозы в тканях.

Уравнение (1) описывает изменение концентрации сахара в воротной вене; регуляторный механизм печени характеризуется уравнением (2); функция поджелудочной железы определяется уравнением (3); концентрация адреналина в крови, оказывающая влияние на концентрацию глюкозы и регулируемая надпочечниками, учитывается уравнением (4); поглощение глюкозы тканями, скорость введения инсулина и глюкозный баланс тканей описываются уравнениями (5), (6), (7) соответственно.

Реализация задач управления может быть проведена несколькими способами [3]. Рассмотрим их подробнее.

На рис. 2, а представлена разомкнутая комплексная система управления.

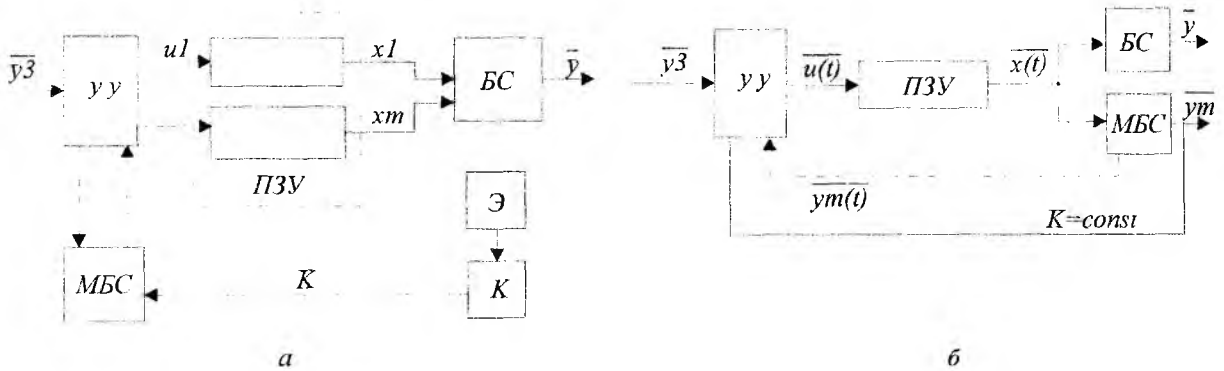


Рис. 2

Устройство управления (компьютерное средство) (УУ) предназначено для определения закона управления  $u_1, \dots, u_m$ , и определяет структуру блоков, преобразующих законы управления (ПЗУ) в управляющие сигналы  $x_1, \dots, x_m$ , поступающие на входы биологической системы. Изменения, происходящие под их воздействием с учетом заданных значений управляемых координат биосистем  $\bar{y}_3$ , объединяются вектором  $\bar{y}$ .

Математическая модель биологической системы (МБС) служит описанием объекта управления (БС) для внешнего устройства управления. Экспериментальные исследования Э позволяют определить коэффициенты К математической модели, необходимые для синтеза внешней части комплексной системы управления.

Индикатором конечного эффекта действия подобной системы могут являться как субъективные ощущения изменения состояния организма, так и объективные показатели, не поддающиеся непосредственному измерению. Следовательно, система такого типа не может быть применима для решения задачи регулирования уровня сахара. Комплексная система управления с обратной связью, замкнутой через модель, представлена на рис. 2, б.

Особенностью данной системы является способ включения биологической системы в контур обратной связи, что позволяет за счет текущего изменения управляемых координат модели  $\bar{y}_m(t)$  корректировать законы управления  $\bar{u}(t)$  и соответственно управляющие сигналы  $\bar{x}(t)$ , причем составляющие векторов  $\bar{y}$  и  $\bar{y}_m$  должны быть аналогичны. Управление проводится до совпадения текущего значения вектора координат модели  $\bar{y}_m(t)$  с вектором заданных значений  $\bar{y}_3$ .

К недостаткам, ограничивающим применение этого способа, следует отнести необходимость строгого соответствия индивидуализированных математических моделей управляемой биологической системе, т.к. непрерывная коррекция управляющих сигналов производится именно за счет обратной связи от блока МБС.

Структурная схема дискретно – замкнутой комплексной системы управления изображена на рис. 3.

В отличие от предыдущих схем управления в данном случае возникает возможность осуществить коррекцию управляющих сигналов по реальным значениям выходных координат системы, опреде-

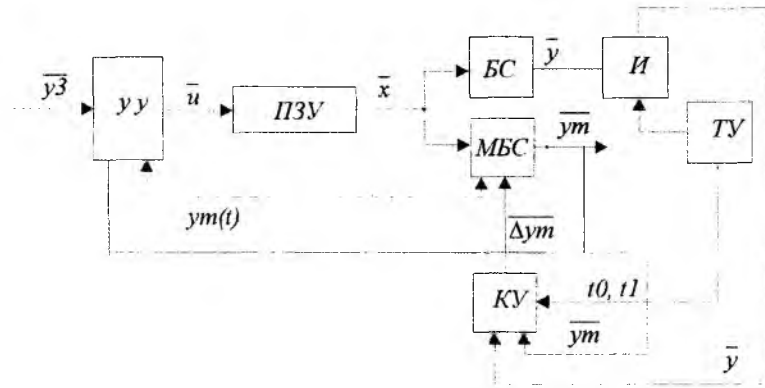


Рис. 3

ление которых блоком измерения И занимает некоторое время. Поэтому, измеряемые значения передаются в цепь обратной связи в некоторые дискретные моменты времени, задающиеся блоком тактирующего устройства ТУ. Блок коррекции управления (КУ) производит сравнение с учетом времени запаздывания координат модели и биологической системы, изменяя вектор  $\bar{y}_m$  в нужную сторону.

Устройство управления по векторам начальных и заданных значений выходных координат и по индивидуализированной модели рассчитывает законы управления, причем вектор начальных значений состоит из измеренных значений координат. Управление производится до тех пор, пока в очередной дискретный момент времени измеренные значения выходных координат биосистемы станут равными заданным значениям.

Отличие схемы управления с адаптирующейся моделью (рис. 4) состоит в том, что в процессе управления происходит непрерывная коррекция структуры и коэффициентов математической модели. В этом случае измерение выходных координат может быть как дискретным, так и непрерывным. Необходимость в управлении подобного рода может возникнуть, если в процессе управления организм подвержен многочисленным факторам окружающей среды не учтенным в модели, и существует необходимость дублирования цепей обратных связей от модели в связи с возможностью отключения реальных объектных связей от устройства управления. Такой способ коррекции модели необходим также для учета более медленного по сравнению со временем управления процесса выздоровления или углубления патологии.

Выбор типа системы определяется спецификой поставленной задачи. Так, системы управления (рис. 2) могут быть использована, когда отсутствует необходимость мониторингового слежения за показателем уровня глюкозы в крови. Исходные данные для формирования управляющего воздействия имитируются математической моделью системы, которая описывает глюкозоинсулиновую зависимость.

Реализация дискретнозамкнутой комплексной системы управления (рис. 3) связана с определенными сложностями, которые обусловлены необходимостью измерения уровня глюкозы в определенные моменты времени и разработкой требуемых технических устройств. С другой стороны, будут иметь место погрешности, возникающие при идентификации математической модели. Выбор системы управления с адаптирующейся моделью, следовательно, является наиболее целесообразным.

Основная задача, таким образом, сводится к созданию оптимального регулятора, для которого по

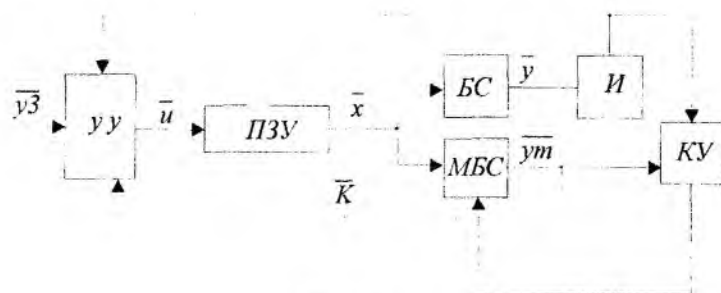


Рис. 4

начальному состоянию объекта и выбранной цели управления указывается зависимость управляющих функций  $\bar{u}$ , независимо от того, как он в это состояние попал. Решение этой проблемы возможно с позиций теории управления, если рассматривать данную систему как динамическую, т.е. изменение состояния системы  $S$  со временем может быть задано оператором  $(\Delta t)$  так, что

$$S(t + \Delta t) = T(\Delta t)S(t). \quad (8)$$

Оператор  $T(\Delta t)$  однозначен и удовлетворяет соотношению, означающему, что последовательность изменения состояния  $S(t)$  за времена  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  совпадают с изменением состояния  $S(t)$  за время  $\Delta t_1 + \Delta t_2$  [2]:

$$T(\Delta t_2)T(\Delta t_1) = T(\Delta t_1 + \Delta t_2). \quad (9)$$

Будем описывать рассматриваемую систему уравнением вида

$$\dot{\bar{y}} = A\bar{y} + bu, \quad (10)$$

где  $A$  – матрица  $n \times n$ ;  $b$  – матрица  $n \times 1$ ,  $u$  – скаляр.

Если подавать входное воздействие  $u(t)$  еще и на имитационную модель, для которой выход  $y_m(t)$  связан со входом уравнением, то

$$\bar{y}_m = \tilde{A}\bar{y} + \tilde{b}u(t), \quad (11)$$

где  $\tilde{A}$  и  $\tilde{b}$  – подстраиваемые параметры.

В качестве количественной оценки невязки  $\delta = y - y_m$  примем величину

$$V = \delta^T C \delta. \quad (12)$$

Изменение матриц  $A$  и  $b$  в направлении уменьшения  $V$  приведет к тому, что невязка обратиться в нуль, а  $\tilde{A} \rightarrow A$ ,  $\tilde{b} \rightarrow b$ .

Уравнение стратегии принимает вид [4]:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{A}} &= -\mu_1 \nabla_{\tilde{A}} \dot{V} = +\mu_1 \nabla_{\tilde{A}} (y - y_m)^T C \tilde{A} y_m = \mu_1 C \delta y_m^T, \\ \dot{\tilde{b}} &= -\mu_2 \nabla_{\tilde{b}} \dot{V} = +\mu_2 \nabla_{\tilde{b}} (y - y_m)^T C \tilde{b} u = \mu_2 C \delta u \end{aligned} \quad (13)$$

Из обращения невязки в нуль следует уравнение искомой адаптивной системы:

$$\dot{\delta} = \tilde{A}\delta + (A - \tilde{A})y + (b - \tilde{b})u(t). \quad (14)$$

Рассматриваемая система, таким образом, имеет единственное состояние равновесия  $y = 0$ ,  $a = a^*$ , которое является глобально устойчивым, и к нему стремятся все фазовые траектории, чем достигается решение задачи идентификации.

Таким образом, разработка системы управления с адаптирующейся моделью является, по мнению автора, наиболее перспективной, так как главной задачей при разработке биотехнических систем подобного типа является создание алгоритма управления, который позволит производить более тонкую коррекцию уровня сахара, где управляющее воздействие будет определяться величиной управляемого параметра.

**Список литературы:** 1. *Процессы регулирования в биологии* /Под ред. П.К. Анохина М: Изд. ин. лит., 1960. 278 с. 2. *Антомонов Ю.Г. Математическая теория системы сахара крови.* Киев: Наукова думка, 1971. 82 с. 3. *Методы анализа и синтеза биологических систем управления* /Под ред. П.К. Анохина Киев: Вища шк, 1983. Т. 7. 270 с. 4. *Неймарк Ю.И., Коган Н.Я., Савельев В.П. Динамические модели теории управления.* М.: Наука. 1985. 392 с.

Поступила в редколлегию 4.08.2000

УДК.631.53.02

А. И. КОВАЛЕНКО, В. А. МУНТЯН, В. П. ПУТЯТИН

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЕМЯН ПО КЛАССИФИКАЦИИ Н. Н. УЛЬРИХА**

Для автоматизации научных исследований в семеноводстве, семенном контроле сельскохозяйственных культур, генетике, биологии, селекционной работе [1-3] требуется создание комплекса математических моделей изучаемых биологических объектов и соответствующего программно-аппаратного обеспечения. Примером могут служить задачи автоматизации периодической поверочной оценки качества посевных семян в процессе их хранения или при производстве (сепарации) семян путем разделения зерна на фракции.

Одной из наиболее важных задач анализа качества образца семян является задача определения (распознавания) числа «гостовских» семян. При этом, например, метод распознавания, путем сравнения с эталоном, является одним из наиболее эффективных подходов, естественно при наличии изображений эталонов семян в банке данных или при задании их соответствующими математическими моделями. Для осуществления операции оценки качества посевных семян, например с использованием оптико-электронной системы для оценки качества микробиологических объектов [3], необходимо иметь математические модели эталонов соответствующих семян.

Вопросам описания геометрической формы семян уделялось большое внимание при определении их физико-механических свойств (формы, размеров, коэффициентов трения движения, коэффициентов восстановления при ударе, коэффициентов мгновенного трения при ударе) для повышения качества технологического процесса вибросепарации [4, 5, 8, 11]. Однако, эти вопросы рассматривались только с точки зрения построения и дальнейшего использования профиля границы семян. При этом метод построения соответствующих уравнений основывался на аппроксимации семян правильными геометрическими фигурами, или путем применения метода наименьших квадратов. Заметим, что, например, семена некоторых овощных культур и семена сопутствующих им сорняков можно представить следующими фигурами: трехосным эллипсоидом, эллипсоидом вращения, сферой, а также фигурами, получающимися после усечения указанных поверхностей (половина эллипсоида, срезанный эллипсоид, сопряжение двух срезанных эллипсоидов, срезанный эллипсоид вращения и их сопряжение). Такими фигурами могут быть аппроксимированы поверхности семян следующих культур и сорняков: сурепки, капусты, редиса, повилики, турнепса, лука, щетинника, проса куриного, укропа.

Рассмотрим построение математических моделей эталонов семян некоторых сельскохозяйственных культур для их дальнейшего использования в процессе решения задач распознавания и оценки качества семян в образце. Для построения математических моделей, описывающих геометрическую форму семян целесообразно применить метод теории R-функций В.Л. Рвачева [6]. Такой подход дает возможность в общем случае, в трехмерном пространстве, получить модель семени в едином аналитическом виде, что позволяет перейти к созданию банка математических моделей, как типичных семян сельскохозяйственных культур, так и сопутствующих им семян сорняков в анализируемом образце. Кроме того, такие модели позволяют иметь не только уравнения границ семян в едином аналитическом виде, но и соответствующие неравенства, которые однозначно определяют их внутренние точки. Последняя наиболее существенная особенность отличает этот подход от других и дает возможность эффективного совместного применения метода R-функций, метода распознавания образов, путем сравнения с эталоном, и систем технического зрения [3, 7]. Проиллюстрируем этот подход для двумерного случая, поскольку в системах технического зрения с одной телекамерой, изображение семян воспринимается прибором с зарядовой связью (ПЗС-матрицей) в плоскости. В случае же применения нескольких телекамер, регистрирующих изображение семени в различных направлениях (проекциях), идея построения математической модели семени в трехмерном пространстве остается прежней.

Существует довольно большое число классификаций семян в зависимости от интересующих ис-

следователя свойств. Для специалистов, занимающихся контролем посевных семян в процессе их производства (сепарации) и хранения значительный интерес представляют физико-механические свойства семян. В связи с этим для общности подхода к построению математических моделей внешней геометрии семян возьмем за основу общепризнанную в семенном контроле классификацию Н.Н. Ульриха [8, стр. 6]. Такая классификация делит семена на пять типов. При этом семена классифицируются в зависимости от соотношения их характерных размеров: толщины –  $a$ , ширины –  $b$  и длины –  $l$ . К первому типу семян относятся шарообразные (семена гороха, проса, сорго и др.), для которых  $a = b = l$ . Ко второму – чечевицеобразные (чечевица и др.), для которых  $a < b = l$ . К третьему – эллиптические (эллипсоид вращения, это семена сои и ряда других бобовых культур), для которых  $a = b < l$ . К четвертому – удлинённые (семена пшеницы, ржи, ячменя и некоторых других зерновых культур), для которых  $a < b < l$ . К пятому – треугольные (семена гречишных культур), для которых  $a < (=) b < (=) l$  и, кроме того, все характерные размеры равны между собой, или имеют незначительные отличия, но расположение их граней должно быть треугольным (приближаются к форме треугольной пирамиды). В работе [8, стр. 7] П.М. Заика ввел шестой тип семян, к которому относятся многие семена культурных и сорных растений, имеющие плоскую форму. Согласно этого дополнения, к нему относятся те семена, для которых  $a \ll b$ ,  $a \ll l$  и при этом  $a < b < l$ .

**Модели шарообразных семян.** Граница и внутренняя часть плоского изображения шарообразного семени определяется неравенством, построенным на основе уравнения соответствующей окружности радиуса  $r$ .

**Модели чечевицеобразных семян.** Вид сбоку (область  $D_{12}$  на рис. 1) можно получить путем конъюнкции (пересечения) двух областей  $D_1$  и  $D_2$  в виде кругов радиусов  $r_1$  и  $r_2$  соответственно:

$$D_{12} = D_1 \wedge D_2$$

Точки, принадлежащие областям  $D_1$  и  $D_2$ , удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_1(x, y) \equiv r_1^2 - (x + a_1)^2 - y^2 \geq 0, \quad (1)$$

$$(D_2) \quad f_2(x, y) \equiv r_2^2 - (x - a_2)^2 - y^2 \geq 0, \quad (2)$$

где  $r_1, r_2$  – радиусы изображения боковых оболочек семени чечевицы (рис. 1), а параметры  $a_1$  и  $a_2$  указаны на рис. 1.

Тогда область  $D_{12}$  описывается соотношением

$$(D_{12}) \quad f_{12}(x, y) \equiv f_1(x, y) \wedge_{\alpha} f_2(x, y) \geq 0, \quad (3)$$

где  $\wedge_{\alpha}$  – операция R – конъюнкции, которая согласно работе [6] раскрывается следующим образом

$$f_1(x, y) \wedge_{\alpha} f_2(x, y) = \frac{1}{2}(f_1 + f_2 - \sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2\alpha f_1 f_2}), \quad (4)$$

значение  $\alpha$ , согласно работе [6], выбирается на отрезке  $-1 \leq \alpha \leq 1$ .

Таким образом, раскрыв выражение (4), с учетом соотношений (1) и (2), получим неравенство (3) в виде

$$f_{12}(x, y) \geq 0, \quad (5)$$

обладающее тем свойством, что только для точек, принадлежащих боковой поверхности чечевицеобразного семени (точкам границы и внутренним точкам плоского изображения семени), выполняется неравенство (5).

При этом  $f_{12}(x, y) = 0, \quad (x, y) \in \Gamma, \quad (6)$

$$f_{12}(x, y) > 0, \quad (x, y) \in D_{12} \setminus \Gamma, \quad (7)$$

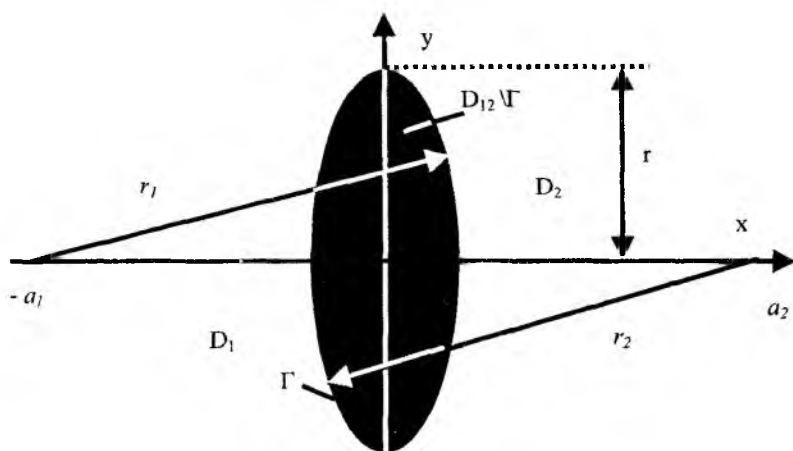


Рис. 1

где  $\Gamma$  – граница изображения семени чечевицы (вид сбоку, рис. 1);  $D_{12} \setminus \Gamma$  – внутренняя часть изображения семени чечевицы (рис. 1). Такое описание бокового вида семени чечевицы дает возможность перейти к распознаванию качественных семян путем установления степени совпадения изображения семени с эталоном (эталонной моделью).

Вид сверху (рис. 1) чечевицеобразного семени описывается аналогично плоскому изображению шарообразного семени, соответствующее неравенство имеет вид

$$(D_3) \quad f_3(x, y) \equiv r^2 - x^2 - y^2 \geq 0, \quad (8)$$

где  $r$  – радиус внешней оболочки семени (рис. 1).

**Модели семян, близких к эллипсоиду вращения.** К семенам такого типа относятся семена сои и ряда других бобовых культур для которых толщина семени приближается к его ширине. Для описания изображения семян, форма которых приближается к эллипсоиду вращения, естественно воспользоваться уравнением эллипса для описания вида сверху. В этом случае соответствующее неравенство имеет вид

$$(D_4) \quad f_4(x, y) \equiv 1 - x^2 / a^2 - y^2 / b^2 \geq 0, \quad (9)$$

где  $a, b$  – параметры эллипса. Вид сбоку можно представить кругом и соответствующее неравенство имеет вид (8).

Все значительно усложняется, когда форма семени отклоняется от классической формы эллипсоида вращения. Так, например, для семян, изображение которых сверху имеет вид, указанный на рис. 2, их описание возможно осуществить путем дизъюнкции (объединения) областей  $D_1, D_2$ . При этом области  $D_1$  и  $D_2$  являются эллипсами. Соответствующая булева функция для этого случая имеет вид

$$F_{12}^1(D_1, D_2) = D_1 \vee D_2. \quad (10)$$

Точки, принадлежащие областям  $D_1$  и  $D_2$  удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_1(x, y) \equiv 1 - (x + x_1)^2 / a_1^2 - y^2 / b_1^2 \geq 0, \quad (11)$$

$$(D_2) \quad f_2(x, y) \equiv 1 - (x - x_2)^2 / a_2^2 - y^2 / b_2^2 \geq 0, \quad (12)$$

где  $x_1, x_2$  – сдвиги соответственно эллипсов  $D_1$  и  $D_2$  по оси  $Ox$  (рис. 2);  $a_1, a_2, b_1, b_2$  – параметры эллипсов  $D_1$  и  $D_2$  (рис. 2). Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени, представляется в виде

$$(D_{12}^1) \quad f_{12}^1(x, y) \equiv f_1(x, y) \vee_{\alpha} f_2(x, y) \geq 0. \quad (13)$$

где  $\vee_{\alpha}$  – операция R-дизъюнкции [6], согласно которой

$$f_1(x, y) \vee_{\alpha} f_2(x, y) = \frac{1}{2}(f_1 + f_2 + \sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2\alpha f_1 f_2}). \quad (14)$$

значение  $\alpha$ , согласно работе [6], выбирается на отрезке  $-1 \leq \alpha \leq 1$ .

Используя соотношения (11 – 12), на основании (14), получим неравенство (13) в виде

$$f_{12}^1(x, y) \geq 0, \quad (15)$$

обладающее тем свойством, что только для точек, принадлежащих боковой поверхности семени (рис. 2), выполняется неравенство (15). Вид сбоку (торец) можно представить кругом и соответствующее неравенство имеет вид (8), для некоторых семян вид сбоку можно представить соотношением (9).

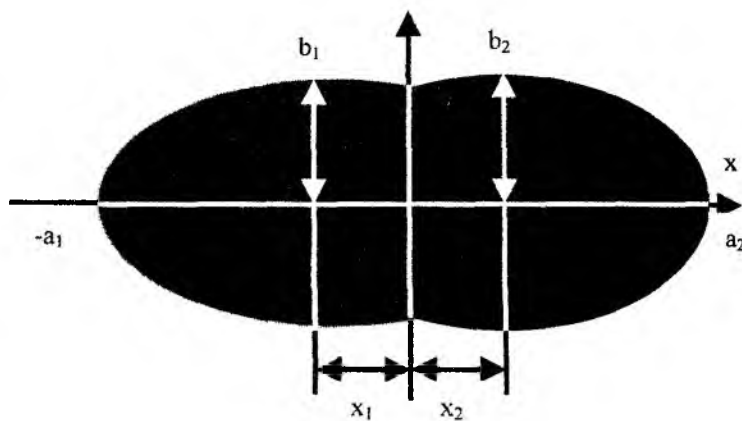


Рис. 2

**Модели удлиненных семян.** К семенам такого типа относятся семена ячменя, пшеницы, ржи и некоторых других зерновых культур. Методы построения двумерных эталонных моделей таких семян аналогичны изложенным ранее для чечевицеобразных семян. При этом отметим, что, например, для овса моделью вида сверху может служить неравенство (3), описывающее вид сбоку семян чечевицеобразных. Однако, пересекающиеся круги имеют значительно большие радиусы в силу большой вытянутости семян овса.

Рассмотрим построение математической модели удлиненных семян на примере семени, изображенного на (рис. 3). Для такого семени изображение сверху представляется булевой функцией вида

$$F_{15}(D_1, D_2, D_3, D_4) = (D_1 \wedge D_2) \vee D_3 \vee D_4. \quad (16)$$

где  $\wedge$ -конъюнкция,  $\vee$ -дизъюнкция.

Точки, принадлежащие областям  $D_1, D_2, D_3$  и  $D_4$ , удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_{21}(x, y) \equiv r_{21}^2 - y^2 \geq 0, \quad (17)$$

$$(D_2) \quad f_{22}(x, y) \equiv r_{22}^2 - x^2 \geq 0, \quad (18)$$

$$(D_3) \quad f_{23}(x, y) \equiv r_{21}^2 - (x + r_{22})^2 - y^2 \geq 0, \quad (19)$$

$$(D_4) \quad f_{24}(x, y) \equiv r_{21}^2 - (x - r_{22})^2 - y^2 \geq 0, \quad (20)$$

где  $r_{21}, r_{22}$  – указаны на рис. 3.

Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени (рис.3) с использованием операции R- конъюнкция и R-дизъюнкция [6] представляется в виде

$$(D_{15}) \quad f_{15}(x, y) \equiv [f_{21}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{22}(x, y)] \vee_{\alpha} f_{23}(x, y) \vee_{\alpha} f_{24}(x, y) \geq 0, \quad (21)$$

где  $\wedge_{\alpha}$  – операция R – конъюнкции, а  $\vee_{\alpha}$  – операция R-дизъюнкции (4), (14).

Таким образом, раскрыв выражение (21), с учетом соотношений (17)-(20), получим неравенство

$$f_{15}(x, y) \geq 0, \quad (22)$$

описывающее вид семени сверху (рис. 3). Т. е. если точка  $(x, y)$  принадлежит поверхности семени, то выполняется неравенство (22), причем равенство достигается только на границе этой области. Вид сбоку (торец) можно представить кругом, а в некоторых случаях эллипсом и соответствующие неравенства имеет вид (8), (9).

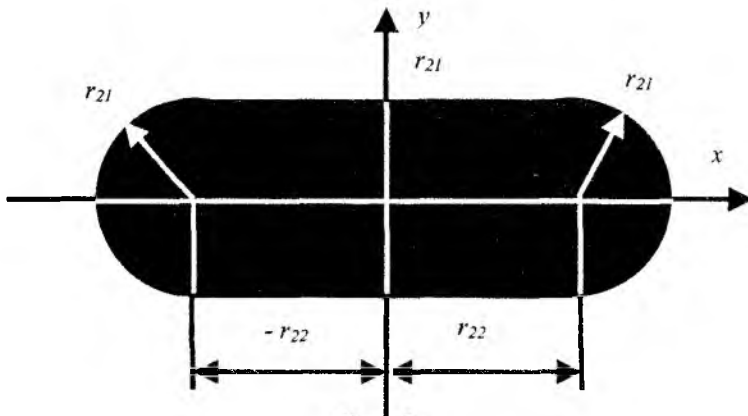


Рис. 3

Для ряда других семян зерновых культур этого типа может увеличиваться или уменьшаться число областей, образующих изображение семени. При этом изложенная выше логика подхода к построению соответствующих неравенств, описывающих двумерный образ семени остается прежним.

**Модели гречишных семян.** В работе [5] проведен анализ формы семян гречихи сорта «Богатырь», выращенной на одном поле и в одинаковых агротехнических условиях. В этой же работе рассмотрена внутритиповая детальная классификация семян гречихи по шести формам. Большое число форм семян, как правило, связано с неодинаковой интенсивностью созревания зернообразования у семян гречишных растений. К форме 1 семян гречихи отнесен так называемый «рудяк» или крылатая форма по классификации Е.А. Столетовой. Форма 2 – околоплодник семени развит чрезмерно сильно и грани выгибаются вовнутрь. Форма 3 – промежуточная, с нормально развитым околоплодником и ядром семени. Форма 4 – ядро семени развито сильнее околоплодника. Форма 5 – бескрылатая, ядро семени развито чрезмерно, а околоплодник мало. Форма 6 – околоплодник имеет меньшие размеры, чем ядро и к концу налива разрывается по ребрам.

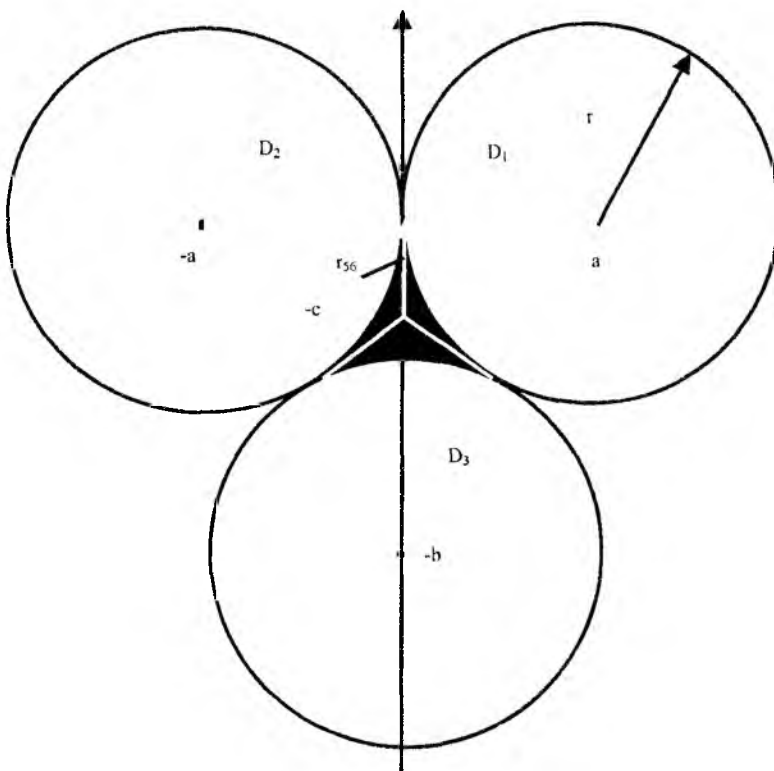


Рис. 4

Рассмотрим математические модели внешней формы семян, наиболее часто встречающихся в образце (формы 2, 3 и 4). Метод построения моделей семян других форм – аналогичен.

1<sup>о</sup>. На рис. 4 приведен пример семени гречихи с хорошо развитым околоплодником, а грани семени выгибаются вовнутрь. Для такого семени изображение сверху представляется булевой функцией вида

$$F_{16}(D_1, D_2, D_3, D_4) = (\bar{D}_1 \wedge \bar{D}_2 \wedge \bar{D}_3) \vee D_4, \tag{23}$$

где  $\wedge$ -конъюнкция,  $\vee$ -дизъюнкция,  $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \bar{D}_3$  – внешняя часть соответственно областей  $D_1, D_2$  и  $D_3$ , а область  $D_4$  – внутренняя часть круга радиуса  $r_{56}$  с центром в точке  $y=-c, x=0$  (рис.4).

Точки, принадлежащие областям  $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \bar{D}_3, \bar{D}_4$  удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_{26}(x, y) \equiv (x - a)^2 + y^2 - r_{16}^2 \geq 0, \quad (24)$$

$$(D_2) \quad f_{36}(x, y) \equiv (x + a)^2 + y^2 - r_{16}^2 \geq 0, \quad (25)$$

$$(D_3) \quad f_{46}(x, y) \equiv x^2 + (y + b)^2 - r_{16}^2 \geq 0, \quad (26)$$

$$(D_4) \quad f_{56}(x, y) \equiv r_{56}^2 - x^2 - (y + c)^2 \geq 0, \quad (27)$$

где  $r_{16}, r_{56}$  – указаны на рис.3.

Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени (рис. 4) с использованием операции R- конъюнкция и R-дизъюнкция [6] представляется в виде

$$(D_{16}) \quad f_{16}(x, y) \equiv [f_{26}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{36}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{46}(x, y)] \vee_{\alpha} f_{56}(x, y) \geq 0, \quad (28)$$

где  $\wedge_{\alpha}$  – операция R – конъюнкции, а  $\vee_{\alpha}$  – операция R-дизъюнкция [6].

Таким образом, применив операцию R – конъюнкции и R-дизъюнкции, выражение (28), с учетом соотношений (24)-(27), получим неравенство

$$f_{16}(x, y) \geq 0, \quad (29)$$

описывающее вид семени гречихи сверху (рис. 4). Т. е. если точка  $(x, y)$  принадлежит поверхности семени, то выполняется неравенство (29), причем равенство достигается только на границе этой области.

2<sup>o</sup>. На рис. 5 приведено изображение семени гречихи с нормально развитым околоплодником и ядром. При этом области  $D_1, D_2$  и  $D_3$  (рис.5) являются полуплоскостями. Неравенства, определяющие полуплоскости, легко записываются на основе соответствующих уравнений прямых. Булева функция для этого случая имеет вид (рис. 5)

$$F_{17}^1(D_1, D_2, D_3) = D_1 \wedge D_2 \wedge D_3. \quad (30)$$

Точки, принадлежащие областям  $D_1, D_2, D_3$  удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_{17}(x, y) \equiv c - (c/d)x - y \geq 0, \quad (31)$$

$$(D_2) \quad f_{27}(x, y) \equiv c + (c/d)x - y \geq 0, \quad (32)$$

$$(D_3) \quad f_{37}(y) \equiv y \geq 0, \quad (33)$$

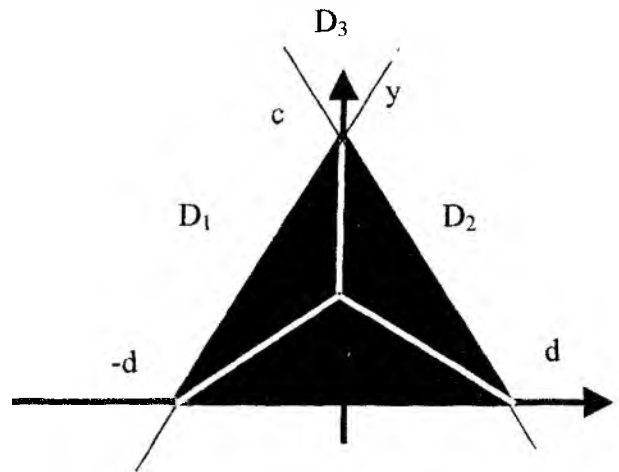


Рис. 5

Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени (рис.5) с использованием операции R- конъюнкция и R-дизъюнкция [6] представляется в виде

$$(D_{17}) \quad f_{17}^1(x, y) \equiv f_{17}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{27}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{37}(y) \geq 0, \quad (34)$$

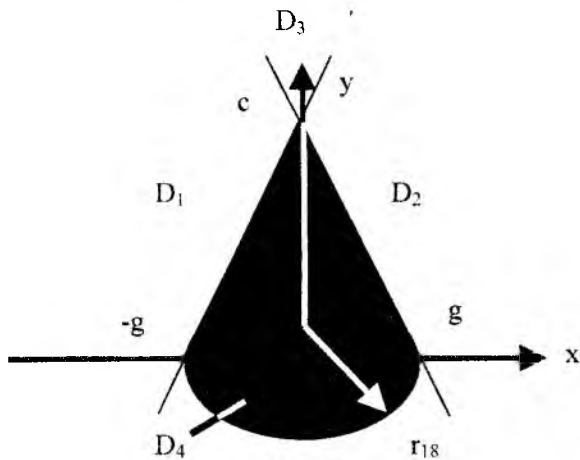


Рис. 6

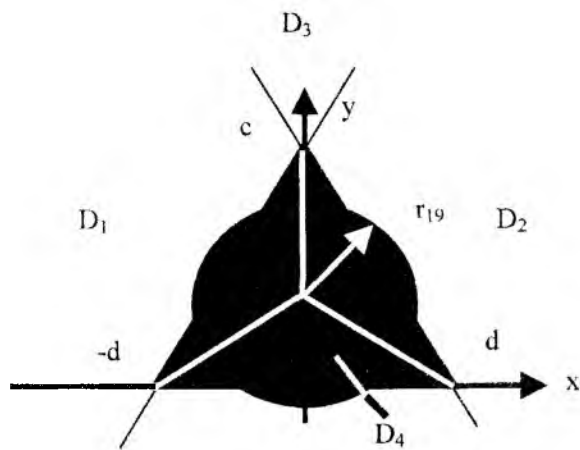


Рис. 7

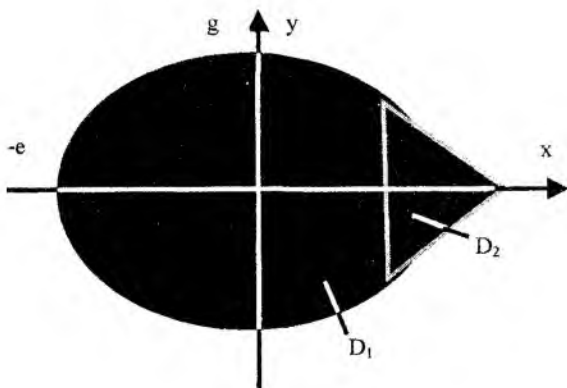


Рис. 8

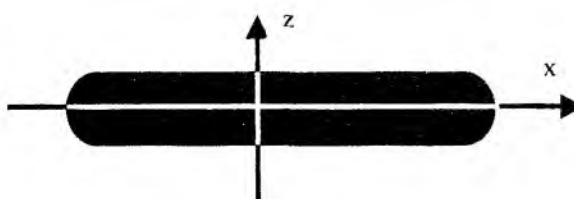


Рис. 9

где  $\wedge_a$  – операция R – конъюнкции, а  $\vee_a$  – операция R-дизъюнкции (см. (4), (14)).

Таким образом, раскрыв выражение (34), с учетом соотношений (31)-(33), получим неравенство

$$f_{17}^1(x, y) \geq 0, \quad (35)$$

описывающее вид семени сверху (рис. 5), т. е. если точка  $(x, y)$  принадлежит поверхности семени, то выполняется неравенство (35), причем равенство достигается только на границе этой области. Вид сбоку (рис. 6) определяется следующей булевой функцией

$$F_{18}^1(D_1, D_2, D_3, D_4) = (D_1 \wedge D_2 \wedge D_3) \vee D_4, \quad (36)$$

где область  $D_4$  – круг радиуса  $r_{18}$  (рис. 6), области  $D_1, D_2$  и  $D_3$  задаются подобными (31)–(33) неравенствами. Далее аналогично описанному выше способу осуществляется построение R – функции, определяющей внутренние и граничные точки вида семени гречихи сбоку.

3<sup>0</sup>. На рис. 7 приведено изображение семени гречихи с ядром, развитым сильнее околоплодника. На основании 2<sup>0</sup> булева функция для этого случая имеет вид (рис. 6)

$$F_{19}^1(D_1, D_2, D_3, D_4) = (D_1 \wedge D_2 \wedge D_3) \vee D_4, \quad (37)$$

где область  $D_4$  – круг радиуса  $r_{19}$  (рис. 7) а области  $D_1, D_2$  и  $D_3$  задаются подобными (31)–(33) неравенствами. Аналогично описанному выше способу осуществляется построение R – функций (вид сверху и сбоку), определяющих внутренние и граничные точки этого типа семени.

**Модели семян шестого типа (по классификации П.М. Заики [8, стр. 6–7]).** На рис. 8 и 9 приведен пример семени, для которого характерные размеры соотносятся следующим образом:  $a \ll b, a \ll l$  и при этом  $a < b < l$ . К такого типа семенам относятся, например, семена укропа, моркови, пастернака, гречишки развесистой и др. Описание внешней формы таких семян возможно осуществить путем дизъюнкции областей  $D_1, D_2$ . При этом область  $D_1$  является эллипсом или кругом, а область  $D_2$  – треугольником. Соответствующая булева функция для этого случая имеет вид

$$F_{110}^1(D_1, D_2) = D_1 \vee D_2. \quad (38)$$

Далее аналогично описанному выше способу осуществляется построение R – функции, определяющей внутренние и граничные точки семени (вид сверху). Вид сбоку описывается аналогичным неравенством (22) для удлиненных семян (рис. 3).

**Замечание 1.** В работе [8] отмечалось, что некоторые семена, например, сахарной, столовой, кор-

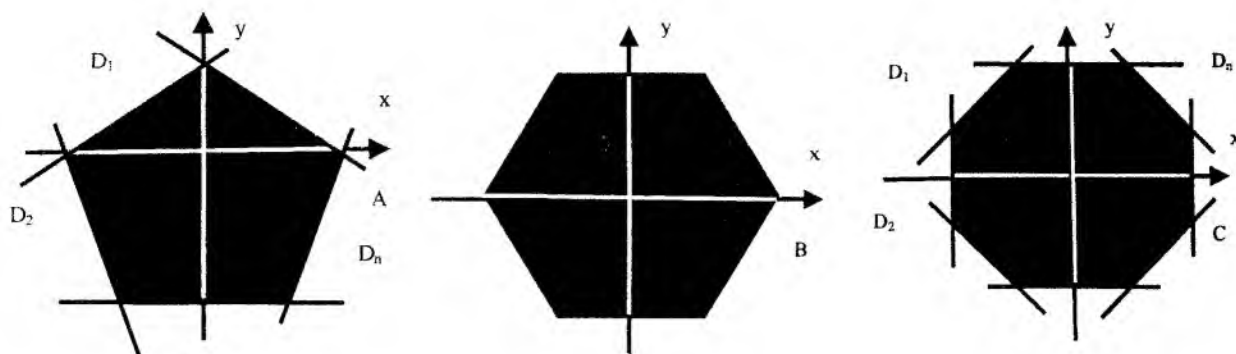


Рис. 10

мовой свеклы и некоторых других растений имеют форму многогранника, или могут быть аппроксимированы ими (рис. 10, А,В,С). Построение математической модели в этом случае можно осуществить аналогично подпункту 2<sup>0</sup> для семян гречихи. При этом изменится только число отсекающих полуплоскостей, а методика построения математических моделей останется прежней. Соответствующая булева функция имеет следующий вид

$$F_{111}^1(D_1, D_2, D_3, \dots, D_n) = D_1 \wedge D_2 \wedge \dots \wedge D_n = \bigwedge_{i=1}^{i=n} D_i, \quad (39)$$

где  $n$  – число сторон многоугольника (рис. 10).

Тогда неравенство, описывающее граничные и внутренние точки семени представляется в виде

$$f_{111}^1 \equiv \bigwedge_{i=1}^{i=n} f_i(x, y) \geq 0, \quad (40)$$

где  $\bigwedge_{\alpha}$  – операция R – конъюнкции;  $f_i(x, y) = 0, (i = 1, 2, \dots, n)$  – уравнения прямых, проходящих через стороны многоугольника;  $f_i(x, y) \geq 0, (i = 1, 2, \dots, n)$  – неравенства, определяющие отсекающие полуплоскости.

**Замечание 2.** При построении эталонов двумерных моделей семян были специально введены нефиксированные параметры

$$r, \quad r_1, \quad r_2, \quad r_{21}, \quad a_1, \quad a_2, \quad r_{22}, \quad r_{16}, \quad r_{18}, \quad r_{19}, \quad c, \\ a, \quad b, \quad x_1, \quad x_2, \quad b_1, \quad b_2, \quad g, \quad e, \quad n.$$

Эталонные значения этих параметров зависят от многих факторов, принимают самые различные по величине значения и, как правило, они характерны по культуре, виду и сорту. Кроме того, в зависимости от условий развития, семена в пределах одного вида и сорта могут иметь различия по поверхности и форме. К таким условиям относятся, например, почвенно-климатические и агротехнические условия возделывания культуры, изменение внешней геометрии семян в результате уменьшения притока веществ к ним в период формирования и налива, изменение формы поверхности (ребристая, шероховатая, бугристая, морщинистая) семян при их попадании под заморозки в период развития. Отметим также, что при повышении влажности происходит увеличение характерных размеров семян: ширина увеличивается на 10,8%, толщина на 6,2%, длина на 5,2%. Кроме того, существенное значение имеет степень однородности (выравненности) отдельных зерен по размерам и влажности. По данным А.Н. Семенова [11] наибольшая выравниваемость зерна достигается по толщине и ширине (от культуры и сорта она колеблется от 75% до 99%), а по длине выравниваемость значительно ниже (от 19% до 80%). То есть внутри каждой культуры отклонения по ширине от среднего размера зерна меньше, чем по длине, а по толщине эти отклонения очень незначительны. В связи с этим настройка программного обеспечения на генерирование множества эталонных моделей, по соответствующим

математическим моделям, осуществляется путем задания дополнительной информации, учитывающей вид, сорт растения и изменения, произошедшие под воздействием внешних условий.

**Замечание 3.** Трансформацию полученных математических моделей на случай произвольного расположения семян в системе координат  $x, O, y$  (в поле зрения оптико-электронной системы [3]) легко осуществить путем введения подвижных систем координат для каждого семени и применения методов построения моделей произвольно расположенных геометрических объектов [6, стр. 149].

**Замечание 4.** Полученные двумерные эталонные модели семян сельскохозяйственных культур можно распространить на трехмерный случай, проведя соответствующие выкладки в трехмерном пространстве  $x, y, z$ . Такие модели важны в том случае, когда для определения качества образца семян применяются несколько телевизионных камер и прозрачный предметный столик.

**Замечание 5.** Автоматизацию построения неравенств вида (5, 15, 22, 29, 35, 40), описывающих двумерные изображения семян, легко осуществить на основе разработанной в Институте проблем машиностроения НАН Украины под руководством академика НАН В.Л. Рвачева, автоматизированной системы программирования (генераторы программ серии «ПОЛЕ») [9, 10].

**Список литературы:** 1. Пулятин В.П., Левкин А.В., Левкина Р.В. Моделирование процесів визначення якості посівного матеріалу // Овочівництво і баштанництво. Міжвід. тематичн. наук. зб. Київ: Урожай, 1996. Вип. 41. С. 6-9. 2. Пулятин В.П., Верескун О.В., Мегель Ю.Е. Моделирование эталонов эмбрионов // Проблемы бионики. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. Харьков, ХГТУРЭ, 2000. Вып 57. 3. Зубец М.В., Мегель Ю.Е., Пулятин В.П. Автоматизированная система оценки подвижности микробиологических объектов // Вісник аграрної науки. 1993. № 6. С. 69-76. 4. Заика П.М., Мазнев Г.С. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. М.: Колос, 1978. 287 С. 5. Бакеев С.Д. Исследование возможности сепарации семян гречихи с учетом их формы на вибрирующих неперфорированных фрикционных поверхностях // Повышение эффективности сельскохозяйственных машин и орудий для растениеводства. М.: МИИСП, 1984. С. 55-59. 6. Рвачев В.Л. Геометрические приложения алгебры логики. К.: Техніка, 1967. 212 с. 7. Писаревский А.Н., Чернявский А.Ф., Афанасьев Г.К. Системы технического зрения: принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение. Л.: Машиностроение, 1988. 424 С. 8. Заика П.М. Сортирование семян на вибросепараторах. – М.: МИИСП, 1987. 62 с. 9. Рвачев В.Л., Манько Г.П. Автоматизация программирования в краевых задачах. К.: Наук. думка, 1983. 232 с. 10. Рвачев В.Л., Шевченко А.Н. Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов. К.: Техніка, 1988. 197 с. 11. Семенов А.Н. Физико-механические свойства зерна. Кишинев: Труды Кишиневского СХИ, 1959. Т. 20. С. 311 – 346.

Поступила в редколлегию 22.09.2000

УДК 577.3

О. В. ВЕРЕСКУН, Ю. Е. МЕГЕЛЬ, В. П. ПУТЯТИН,

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭТАЛОНОВ ЭМБРИОНОВ

Автоматизация научных исследований в биологии, медицине, селекционной работе (животноводство) требует создания как программно-аппаратного обеспечения, так и комплекса математических моделей изучаемых микробиологических объектов. Примером могут служить задачи оценки качества эмбрионов в технологическом процессе трансплантации эмбрионов [1]. При этом этап оценки жизнеспособности эмбрионов должен базироваться на математических моделях эталонов эмбрионов в целом и их составляющих фрагментов.

Рассмотрим построение математических моделей эталонов эмбрионов для различных стадий их развития, а именно для зиготы, морулы, и бластоцисты. Они представляют собой шар, внутри которого находится 1, 2, 4, 8, 16, 32 или 64 бластомера, имеющих шарообразную форму. Учитывая то, что применение оптико-электронной системы (микроскоп, телекамера, плата ввода изображения в ПЭВМ, программное обеспечение) [2] позволяет получать информацию об анализируемом эмбрионе в виде двумерного геометрического образа, рассмотрим способы построения математических моделей двумерных изображений эталонных эмбрионов.

Наиболее компактное представление информации о геометрическом объекте сложной пространственной формы может быть осуществлено на базе теории R-функций В.Л. Рвачева [3]. Такой подход дает возможность получить в едином аналитическом виде математическую модель исследуемого объекта и его составляющих фрагментов.

Идея такого подхода состоит в следующем. При исследовании эмбриона  $D$  (рис. 1-4) интерес представляет его геометрические характеристики в целом и характеристики составляющих фрагментов  $D_1, D_2, \dots, D_k$ . Пусть каждый из фрагментов  $D_1, D_2, \dots, D_k$  эмбриона определен соответствующим неравенством

$$f_1(x, y) \geq 0; f_2(x, y) \geq 0; \dots; f_k(x, y) \geq 0. \quad (1)$$

Тогда, согласно работе [3], можно задать булеву функцию

$$D = F(D_1, D_2, \dots, D_k), \quad (2)$$

которая определяется логикой построения области  $D$ . При этом значению истинности булевой функции  $F(D_1, D_2, \dots, D_k)$  будет соответствовать принадлежность произвольной точки  $T(x, y)$  области  $D$ , а значению ложности – не принадлежность точки  $T(x, y)$  области  $D$ . Пользуясь соотношениями (1)-(2) возможно [3] построение неравенства вида

$$\varphi(x, y) \equiv [f_1(x, y); f_2(x, y); \dots, f_k(x, y)] \geq 0, \quad (3)$$

которое в аналитическом виде позволяет описать область  $D$ , что и является ее математической моделью. Аналогично можно построить неравенства, описывающие фрагменты области  $D$  (эмбриона).

Математические модели эталона зиготы.

Для распознавания зиготы (рис. 1) необходимо иметь математические модели ее фрагментов. Внутренняя часть плоского изображения зиготы (область  $D$  вместе с внешней оболочкой зиготы) определяется неравенством вида

$$(D) \quad f(x, y) \equiv r^2 - x^2 - y^2 \geq 0, \quad (4)$$

где  $r$ -радиус внешней оболочки зиготы.

Модель зоны пеллюцида зиготы (область  $D_1$  на рис. 1) определяется неравенством вида

$$(D_1) \quad f_1(x, y) \equiv (r^2 - x^2 - y^2)(x^2 + y^2 - r_1^2) \geq 0, \quad (5)$$

где  $r_1$  – радиус внутренней оболочки зоны пеллюцида зиготы.

**Модель перивителлинового пространства зиготы.** Область  $D_2$  (рис.1) между зоной пеллюцида и бластомером (зародышем) определяется неравенством вида

$$(D_2) \quad f_2(x, y) \equiv (r_1^2 - x^2 - y^2)(x^2 + y^2 - r_2^2) \geq 0, \quad (6)$$

где  $r_2$  – радиус бластомера  $D_3$  (рис.1).

**Модель бластомера зиготы.** Область  $D_3$  (рис.1) описывается следующим неравенством

$$(D_3) \quad f_3(x, y) \equiv r_2^2 - x^2 - y^2 \geq 0. \quad (7)$$

Математические модели эталона ранней морулы (два бластомера).

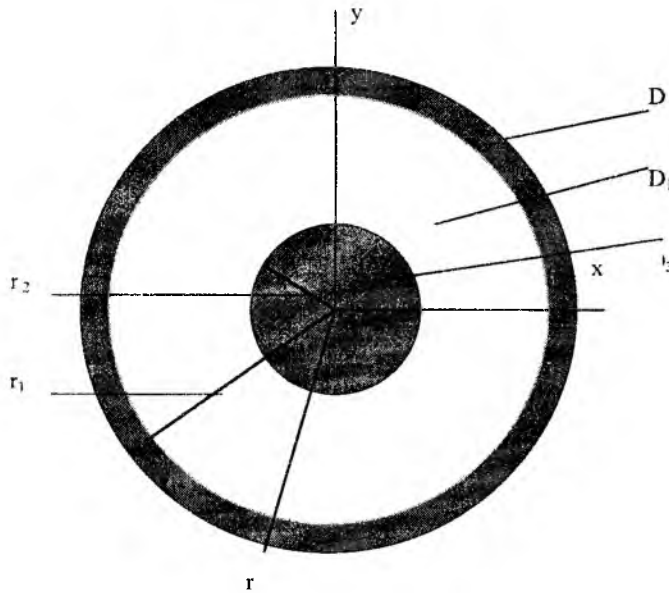


Рис. 1

**Модель зоны пеллюцида ранней морулы.** Область  $D_{11}$  (рис.2) определяется неравенством вида

$$(D_{11}) \quad f_{11}(x, y) \equiv (r^2 - x^2 - y^2)(x^2 + y^2 - r_{11}^2) \geq 0, \quad (8)$$

где  $r$  – радиус внешней оболочки морулы;  $r_{11}$  – радиус внутренней оболочки зоны пеллюцида морулы.

**Модель перивителлинового пространства ранней морулы.** Область  $D_{12}^I$  между зоной пеллюцида и бластомерами  $D_{13}$  и  $D_{14}$  (рис.2) можно задать следующей булевой функцией

$$F_{11}(D_{12}, \bar{D}_{13}, \bar{D}_{14}) = D_{12} \wedge (\bar{D}_{13} \vee \bar{D}_{14}). \quad (9)$$

где  $\wedge$  – конъюнкция,  $\vee$  – дизъюнкция;  $\bar{D}_{13}, \bar{D}_{14}$  – внешние области бластомеров  $D_{13}$  и  $D_{14}$  соответственно.

Точки, принадлежащие областям  $D_{12}, \bar{D}_{13}, \bar{D}_{14}$  удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_{12}) \quad f_{12}(x, y) \equiv r_{11}^2 - x^2 - y^2 \geq 0, \quad (10)$$

$$(\bar{D}_{13}) \quad f_{13}(x, y) \equiv (x - a_1)^2 + y^2 - r_{13}^2 \geq 0, \quad (11)$$

$$(\overline{D}_{14}) \quad f_{14}(x, y) \equiv (x + a_2)^2 + y^2 - r_{14}^2 \geq 0, \quad (12)$$

где  $r_{13}, r_{14}$  – радиусы бластомеров  $D_{13}, D_{14}$  (рис.2);  $a_1$  и  $a_2$  – расстояния по оси  $Ox$  от начала системы координат до центров бластомеров  $D_{13}, D_{14}$ .

Тогда область перивителлинового пространства  $D_{12}^1$ , согласно булевой функции (9) и соотношениям (10)-(12), определяется неравенством

$$(D_{12}^1) \quad f_{12}^1(x, y) \equiv f_{12}^1[f_{12}(x, y); f_{13}(x, y); f_{14}(x, y)] \geq 0. \quad (13)$$

Или, учитывая соотношения (9), (10)-(12) и используя операции R-конъюнкция и R-дизъюнкция [3], область  $D_{12}^1$  между зоной пеллюцида и бластомерами  $D_{13}$  и  $D_{14}$  определяется неравенством вида

$$(D_{12}^1) \quad f_{12}^1(x, y) \equiv f_{12}(x, y) \wedge_{\alpha} [f_{13}(x, y) \vee_{\alpha} f_{14}(x, y)] \geq 0, \quad (14)$$

где  $\vee_{\alpha}$  – операция R-дизъюнкция, согласно которой

$$\psi(x, y) \equiv f_{13}(x, y) \vee_{\alpha} f_{14}(x, y) = \frac{1}{2}(f_{13} + f_{14} + \sqrt{f_{13}^2 + f_{14}^2 - 2\alpha f_{13}f_{14}}); \quad (15)$$

$\wedge_{\alpha}$  – операция R-конъюнкция:

$$f_{12}(x, y) \wedge_{\alpha} \psi(x, y) = \frac{1}{2}(f_{12} + \psi - \sqrt{f_{12}^2 + \psi^2 - 2\alpha f_{12}\psi}); \quad (16)$$

значение  $\alpha$ , согласно работе [3], выбирается на отрезке  $-1 \leq \alpha \leq 1$ .

Таким образом, раскрыв выражение (14), с учетом соотношений (15)-(16), получим неравенство

$$f_{12}^1(x, y) \geq 0, \quad (17)$$

описывающее область перивителлинового пространства  $D_{12}^1$ .

**Модель бластомеров ранней морулы.** Для построения неравенства, описывающего область, занимаемую бластомерами  $D_{13}$  и  $D_{14}$  (рис.2), построим булеву функцию

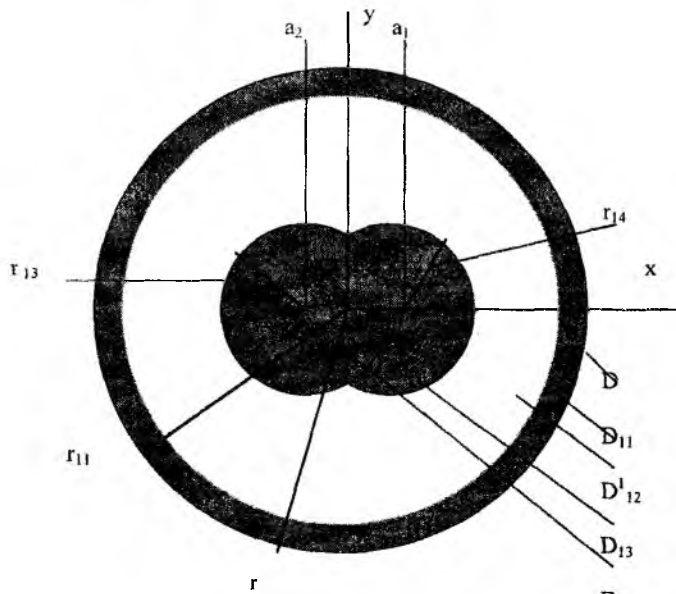


Рис. 2

$$F_{34}(D_{13}, D_{14}) = D_{13} \vee D_{14}. \quad (18)$$

Точки, принадлежащие областям  $D_{13}, D_{14}$  удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_{13}) \quad f_{13}^1(x, y) \equiv r_{13}^2 - (x - a_1)^2 - y^2 \geq 0, \quad (19)$$

$$(D_{14}) \quad f_{14}^1(x, y) \equiv r_{14}^2 - (x + a_2)^2 - y^2 \geq 0, \quad (20)$$

Тогда на основании соотношений (18)-(20) область  $D_{34}$ , занимаемая blastомерами  $D_{13}, D_{14}$ , определяется неравенством

$$(D_{34}) \quad f_{34}^1(x, y) \equiv f_{13}^1(x, y) \vee_{\alpha} f_{14}^1(x, y) \geq 0, \quad (21)$$

где  $\vee_{\alpha} - R$  - дизъюнкция, раскрываемая согласно выражения (15).

Таким образом, неравенство

$$f_{34}^1(x, y) \geq 0 \quad (22)$$

определяет область, занимаемую blastомерами  $D_{13}, D_{14}$ .

Математические модели эталона ранней морулы (четыре blastомера).

**Модель зоны пеллюцида ранней морулы.** Область зоны пеллюцида  $D_{21}$  (рис.3) определяется неравенством вида

$$(D_{21}) \quad f_{21}(x, y) \equiv (r^2 - x^2 - y^2)(x^2 + y^2 - r_{21}^2) \geq 0. \quad (23)$$

где  $r$ -радиус внешней оболочки морулы;  $r_{21}$  - радиус внутренней оболочки зоны пеллюцида морулы.

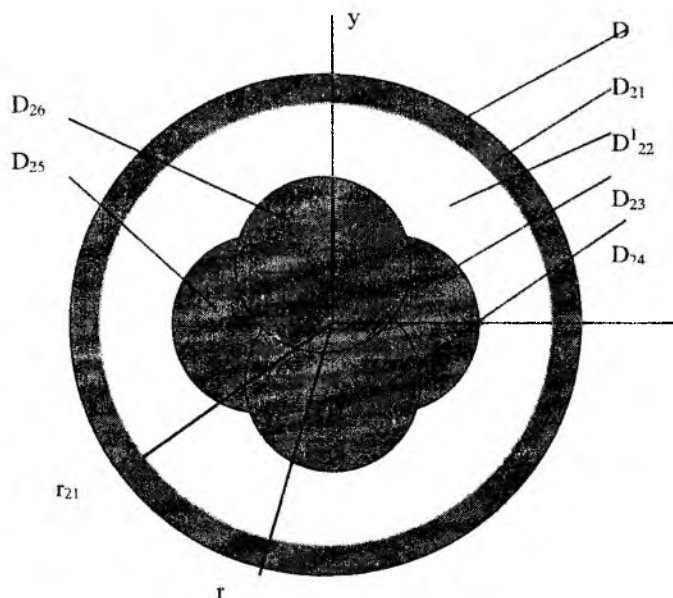


Рис. 3

**Модель перивителлинового пространства ранней морулы.** Область  $D_{22}^1$  перивителлинового пространства между зоной пеллюцида и blastомерами  $D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}$  (рис.3) можно задать следующей булевой функцией

$$F_{22}^1(D_{22}, \bar{D}_{23}, \bar{D}_{24}, \bar{D}_{25}, \bar{D}_{26}) = D_{22} \wedge (\bar{D}_{23} \vee \bar{D}_{24} \vee \bar{D}_{25} \vee \bar{D}_{26}). \quad (24)$$

Точки, принадлежащие областям  $D_{22}, \bar{D}_{23}, \bar{D}_{24}, \bar{D}_{25}, \bar{D}_{26}$ , удовлетворяют следующим неравенствам:

$$(D_{22}) \quad f_{22}(x, y) \equiv r_{21}^2 - x^2 - y^2 \geq 0, \quad (25)$$

$$(\bar{D}_{23}) \quad f_{23}^1(x, y) \equiv (x - a_1^1)^2 + y^2 - r_{23}^2 \geq 0, \quad (26)$$

$$(\bar{D}_{24}) \quad f_{24}^1(x, y) \equiv x^2 + (y + b_1^1)^2 - r_{24}^2 \geq 0, \quad (27)$$

$$(\bar{D}_{25}) \quad f_{25}^1(x, y) \equiv (x + a_2^1)^2 + y^2 - r_{25}^2 \geq 0, \quad (28)$$

$$(\bar{D}_{26}) \quad f_{26}^1(x, y) \equiv x^2 + (y - b_2^1)^2 - r_{26}^2 \geq 0, \quad (29)$$

где  $r_{23}, r_{24}, r_{25}, r_{26}$  – соответственно радиусы бластомеров  $D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}$ ;  $a_1^1, a_2^1, b_1^1, b_2^1$  – расстояния от начала системы координат до центров бластомеров  $D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}$  (рис.3).

Тогда область перивителлинового пространства  $D_{22}^1$ , согласно булевой функции (24) и соотношениям (25)-(29), определяется неравенством

$$(D_{22}^1) \quad f_{22}^1(x, y) = f_{22}^1[f_{22}(x, y); f_{23}^1(x, y); f_{24}^1(x, y); f_{25}^1(x, y); f_{26}^1(x, y)] \geq 0. \quad (30)$$

Или, учитывая соотношения (24)-(29) и используя операции R- конъюнкция и R-дизъюнкция [3], область  $D_{22}^1$  между зоной пеллюцида и бластомерами  $D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}$  (рис.3) определяется неравенством вида

$$(D_{22}^1) \quad f_{22}^1(x, y) \equiv f_{22}(x, y) \wedge_{\alpha} [f_{23}^1(x, y) \vee_{\alpha} f_{24}^1(x, y) \vee_{\alpha} f_{25}^1(x, y) \vee_{\alpha} f_{26}^1(x, y)] \geq 0, \quad (31)$$

где  $\vee_{\alpha}$  – операция R-дизъюнкция, а  $\wedge_{\alpha}$  – операция R-конъюнкция.

Таким образом, раскрыв выражение (31) согласно соотношениям (15)-(16), получим неравенство

$$f_{22}^1(x, y) \geq 0, \quad (32)$$

описывающее область перивителлинового пространства  $D_{22}^1$  ранней морулы с четырьмя бластомерами.

**Модель бластомеров ранней морулы.** Для построения неравенства, описывающего область, занимаемую совокупностью бластомеров  $D_{23}, D_{24}, D_{25}$  и  $D_{26}$  (рис.3) построим булеву функцию

$$F_{26}(D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}) = D_{23} \vee D_{24} \vee D_{25} \vee D_{26}. \quad (33)$$

Точки, принадлежащие областям  $D_{23}, D_{24}, D_{25}$  и  $D_{26}$  удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_{23}) \quad f_{23}(x, y) \equiv r_{23}^2 - (x - a_1)^2 - y^2 \geq 0, \quad (34)$$

$$(D_{24}) \quad f_{24}(x, y) \equiv r_{24}^2 - x^2 - (y + b_1)^2 \geq 0, \quad (35)$$

$$(D_{25}) \quad f_{25}(x, y) \equiv r_{25}^2 - (x + a_2)^2 - y^2 \geq 0, \quad (36)$$

$$(D_{26}) \quad f_{26}(x, y) \equiv r_{26}^2 - x^2 - (y - b_2)^2 \geq 0. \quad (37)$$

Тогда область  $D_{26}$ , занимаемая blastомерами  $D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}$ , определяется неравенством

$$(D_{26}) \quad f_{26}(x, y) \equiv f_{23}(x, y) \vee_{\alpha} f_{24}(x, y) \vee_{\alpha} f_{25}(x, y) \vee_{\alpha} f_{26}(x, y) \geq 0, \quad (38)$$

где  $\vee_{\alpha} - R$  – дизъюнкция, раскрываемая согласно выражения (15).

Таким образом, неравенство

$$f_{26}(x, y) \geq 0 \quad (39)$$

определяет область, занимаемую совокупностью blastомеров  $D_{23}, D_{24}, D_{25}, D_{26}$ .

Заметим, что для случая 8, 16 и 32 blastомеров аналогично можно получить неравенства, описывающие зону пеллюцида, перивителлиновое пространство и область, занимаемую blastомерами.

Математические модели эталона поздней blastоцисты.

Характерной особенностью blastоцисты является наличие 32 или 64 blastомеров. С точки зрения геометрического моделирования и распознавания жизнеспособных эмбрионов значительный интерес представляет область, занимаемая совокупностью blastомеров и внешняя граница этой области. На рис.4 изображен эталон blastоцисты.

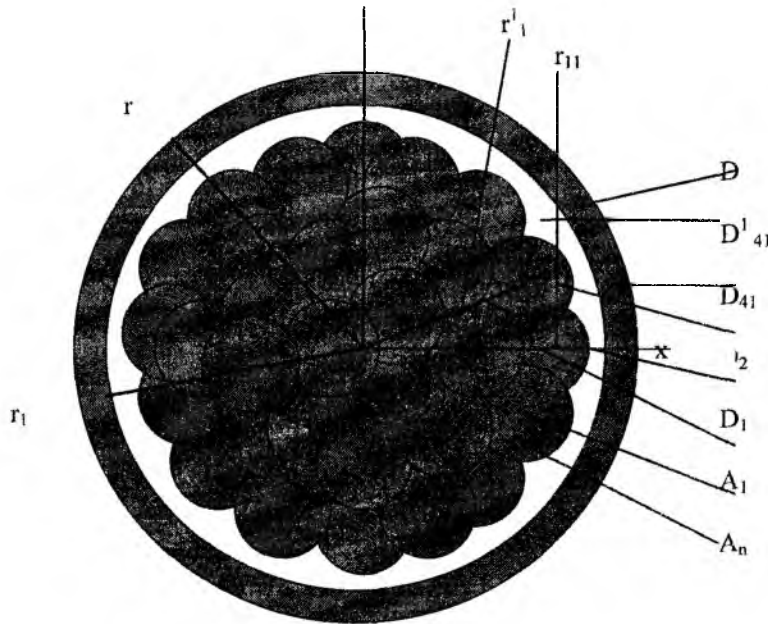


Рис. 4

**Модель зоны пеллюцида blastоцисты.** Область  $D_{41}$  (рис.4), занимаемая зоной пеллюцида, определяется неравенством вида

$$(D_{41}) \quad f_{41}(x, y) \equiv (r^2 - x^2 - y^2)(x^2 + y^2 - r_1^2) \geq 0, \quad (40)$$

где  $r$  – радиус внешней оболочки blastоцисты;  $r_1$  – радиус внутренней оболочки зоны пеллюцида blastоцисты.

**Модель перивителлинового пространства blastоцисты.** Для построения области  $D_{41}^1$  (рис.4), занимаемой перивителлиновым пространством, поместим начало координат в центр окружности, которая описывает внешнюю оболочку эмбриона. Предположим, что радиус окружности, на которой расположены центры областей, занимаемых крайними blastомерами  $D_1, D_2, \dots, D_n$  (рис.4,5), равна единице:  $r_1^1 = 1$ . Тогда координаты центров  $A_1, A_2, \dots, A_n$  окружностей (blastомеров  $D_1, D_2, \dots, D_n$ ) имеют следующие значения:

$$A_k \left[ \cos \frac{2(k-1)\pi}{n}; \sin \frac{2(k-1)\pi}{n} \right], \quad (k = \overline{1, n}). \quad (41)$$

Области, занимаемые крайними blastомерами  $D_1, D_2, \dots, D_n$ , с учетом (41), определяются неравенствами

$$(D_k) \quad f_k(x, y) \equiv r_{11}^2 - \left[ x - \cos \frac{2(k-1)\pi}{n} \right]^2 - \left[ y - \sin \frac{2(k-1)\pi}{n} \right]^2 \geq 0, \quad (k = \overline{1, n}), \quad (42)$$

где  $r_{11}$  – радиусы крайних blastомеров (рис. 5).

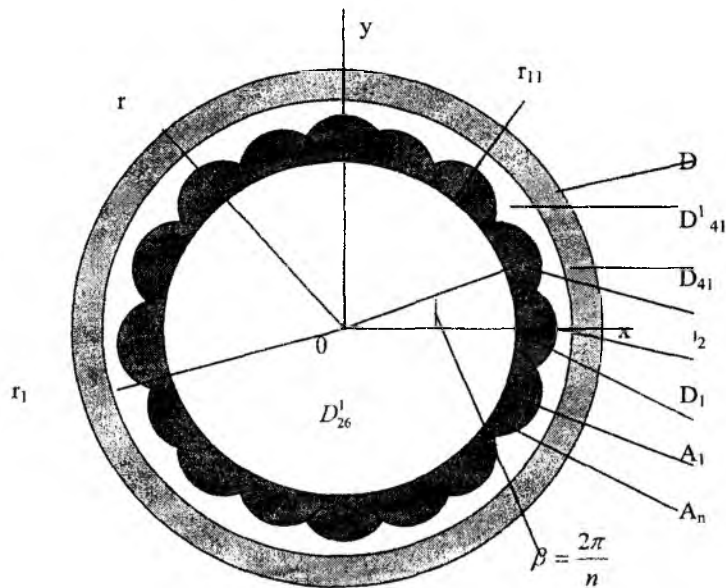


Рис. 5

Область  $D_{41}^1$  между зоной пеллюцида и крайними blastомерами  $D_1, D_2, \dots, D_n$  можно задать следующей булевой функцией

$$F_{41}^1(D_{41}^{11}, \overline{D}_1, \overline{D}_2, \dots, \overline{D}_n) = D_{41}^{11} \wedge (\overline{D}_1 \vee \overline{D}_2 \vee \dots \vee \overline{D}_n). \quad (43)$$

Область  $D_{41}^{11}$  определяется следующим неравенством

$$(D_{41}^{11}) \quad f_{41}^{11}(x, y) \equiv r_1^2 - x^2 - y^2 \geq 0. \quad (44)$$

Области  $\overline{D}_k$  ( $k = \overline{1, n}$ ) задаются следующими неравенствами

$$(\overline{D}_k) \quad f_k^1(x, y) \equiv \left[ x - \cos \frac{2(k-1)\pi}{n} \right]^2 + \left[ y - \sin \frac{2(k-1)\pi}{n} \right]^2 - r_{11}^2 \geq 0, \quad (k = \overline{1, n}). \quad (45)$$

Тогда область перивителлинового пространства, согласно булевой функции (43) и соотношений (44)-(45), определяется неравенством

$$(D_{41}^1) \quad f_{41}^1(x, y) \equiv f_{41}^{11} [ f_{41}^{11}(x, y) \wedge_\alpha [ f_1^1(x, y) \vee_\alpha f_2^1(x, y) \vee_\alpha \dots \vee_\alpha f_n^1(x, y) ] ] \geq 0.$$

Или, используя операцию R- конъюнкция и R-дизъюнкция [3], область  $D_{41}^1$  между зоной пеллюцида и blastомерами  $D_1, D_2, \dots, D_n$  (рис.5) определяется неравенством вида

$$(D_{41}^1) \quad f_{41}^1(x, y) \geq 0.$$

**Модель blastомеров blastоцисты.** Для построения неравенства, описывающего область, занимаемую совокупностью blastомеров  $D_1, D_2, \dots, D_n$  (рис.4), построим булеву функцию

$$F_{26}(D_{26}^1, D_1, D_2, \dots, D_n) = D_{26}^1 \vee (D_1 \vee D_2 \vee \dots \vee D_n).$$

Точки, принадлежащие областям  $D_1, D_2, \dots, D_n$  удовлетворяют неравенствам (42). Область  $D_{26}^1$  (рис. 5) задается следующим неравенством

$$(D_{26}^1) \quad f_{26}^1(x, y) = (r_1^1)^2 - x^2 - y^2 \geq 0.$$

Тогда область  $D_{26}$ , занимаемая blastомерами  $D_1, D_2, \dots, D_n$  определяется неравенством

$$(D_{26}) \quad f_{26}(x, y) \equiv f_{26}^1(x, y) \vee_{\alpha} [f_1(x, y) \vee_{\alpha} f_2(x, y) \vee_{\alpha} \dots \vee_{\alpha} f_n(x, y)] \geq 0,$$

где  $\vee_{\alpha} - R$  – дизъюнкция, раскрываемая согласно выражения (15).

Таким образом, неравенство

$$f_{26}(x, y) \geq 0$$

определяет область, занимаемую blastомерами поздней blastоцисты.

**Замечание 1.** При анализе эмбриона поздней blastоцисты (64 blastомера) с некоторым приближением можно воспользоваться геометрической моделью зиготы, где в качестве радиуса зародыша будет выступать радиус окружности, описанной вокруг совокупности blastомеров.

**Замечание 2.** Полученные двумерные эталонные модели эмбрионов можно распространить на трехмерный случай, проведя соответствующие выкладки в трехмерном пространстве  $x, y, z$ . Такие модели важны в том случае, когда для определения жизнеспособности эмбрионов применяется объемное изображение, типа голографического.

**Замечание 3.** Эмбрион может принимать произвольное положение, находясь например в чашечке Петри со специальным раствором. То есть в общем случае он имеет шесть степеней свободы: координаты  $x, y, z$  центра эмбриона и углы Эйлера  $a, g$  и  $b$  ориентации эмбриона в пространстве. Для сравнения исследуемого эмбриона с эталоном необходимо дополнительно осуществить его ориентацию в растворе.

**Замечание 4.** При построении эталонов двумерных моделей эмбрионов были специально введены нефиксированные параметры

$$r, \quad r_1, \quad r_2, \quad r_{11}, \quad a_1, \quad a_2, \quad r_{13}, \quad r_{14}, \quad r_{21}, \quad a_1^1, \quad a_2^1, \quad b_1^1, \quad b_2^1, \quad r_{23}, \quad r_{24}, \quad r_{25}, \quad r_{26}, \quad r_{11}^1.$$

Эталонные значения этих параметров зависят от многих факторов. В связи с этим настройка программного обеспечения на генерирование множества эталонных моделей, по соответствующим математическим моделям, осуществляется путем задания дополнительной информации. В качестве основных составляющих такой информации являются: видовое происхождение эмбриона (человек, сельскохозяйственное животное, рыба и др.); время развития эмбриона (в днях, часах и даже в минутах); допустимые отклонения эталонных параметров, приведенных в настоящем замечании и пр.

**Список литературы:** 1. Инструкция по трансплантации эмбрионов КРС. М.: Госагропром СССР, 1987. 91 с. 2. Зубец М.В., Мегель Ю.Е., Пуятин В.П. Автоматизированная система оценки подвижности микробиологических объектов // Вісник аграрної науки. 1993. №6. С 69 – 76. 3. Рвачев В.Л. Геометрические приложения алгебры логики. К.: Техніка, 1967. 212 с.

Поступила в редколлегию 11.06.2000

## АВТОРЫ ВЫПУСКА

- Бондаренко Михаил Федорович* – д-р техн. наук, проф. Харьковского государственного университета радиоэлектроники
- Величко Ольга Николаевна* – ассистент ХТУРЭ
- Верескун Ольга Валерьевна* – аспирант Таврической государственной агротехнической академии
- Волк Максим Александрович* – канд. техн. наук, старший преподаватель ХТУРЭ
- Волколупова Раиса Тимофеевна* – д-р техн. наук, ХТУРЭ
- Гриб Олег Герасимович* – д-р техн. наук, проф. Харьковской государственной академии городского хозяйства (ХГАГХ)
- Ерохин Андрей Леонидович* – канд. техн. наук, доцент Харьковского университета внутренних дел (ХУВД)
- Зима Иван Иванович* – доктор техн. наук, старший науч. сотр. Харьковского военного университета
- Каук Виктор Иванович* – канд. техн. наук, доцент, ХТУРЭ
- Кобылин Олег Анатольевич* – аспирант ХТУРЭ
- Коваленко Александр Иванович* – аспирант Таврической государственной агротехнической академии
- Кулибаба Владимир Владимирович* – аспирант ХТУРЭ
- Левыкин Виктор Макарович* – доктор техн. наук, проф. ХТУРЭ
- Лесная Наталья Советовна* – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
- Лысенко Дмитрий Леонидович* – аспирант ХТУРЭ
- Любченко Валентин Анатольевич* – аспирант ХТУРЭ
- Мегель Юрий Евгеньевич* – канд. техн. наук, доцент ХГСТУСХ
- Михаль Олег Филитович* – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
- Мунтян Владимир Алексеевич* – зав. каф. Таврической государственной агротехнической академии
- Нестерцова Светлана Александровна* – инженер ХТУРЭ
- Попова Ольга Васильевна* – ассистент ХТУРЭ
- Путятин Валерий Петрович* – д-р техн. наук, ХТУРЭ
- Путятин Евгений Петрович* – д-р техн. наук, профессор ХТУРЭ
- Репка Виктория Борисовна* – ассистент, аспирант ХТУРЭ
- Саранча Сергей Николаевич* – аспирант ХТУРЭ
- Светелик Александр Александрович* – аспирант ХГАГХ
- Сериков Сергей Анатольевич* – канд. техн. наук ХГАДГУ
- Соловьева Екатерина Александровна* – д-р техн. наук, проф. ХТУРЭ
- Телепнева Людмила Георгиевна* – науч. сотр. Харьковского НИИ микробиологии и иммунологии
- Филипковская Лариса Алексеевна* – ст. преподаватель НАУ «ХАИ»
- Цибульский Андрей Анатольевич* – аспирант ХТУРЭ
- Цымбал Александр Михайлович* – канд. техн. наук, доц. ХТУРЭ
- Чалый Сергей Федорович* – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
- Чередников Павел Ильич* – канд. техн. наук, доцент ХТУРЭ
- Шатовская Татьяна Борисовна* – ассистент ХТУРЭ

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Бондаренко М. Ф., Кулибаба В. В., Соловьева Е. А.</i> Базовый программный инструментарий для построения обучающих систем основам дисциплин «TeachConcept» .....	3
<i>Лесная Н. С., Репка В. Б., Шатовская Т. Б.</i> Итерационная гребневая процедура оценки параметров модели .....	8
<i>Лесная Н. С., Репка В. Б.</i> Об одном подходе к выбору эффективного метода смещенного оценивания параметров моделей квазистационарных процессов с применением аппарата нейронных сетей .....	13
<i>Каук В. И., Левыкин В. М., Чалый С. Ф.</i> Применение парадигмы эволюционной классификации при создании функционального программного обеспечения информационных систем .....	18
<i>Любченко В. А., Пуятин Е. П.</i> Математические модели нормализации перспективы .....	22
<i>Гриб О. Г., Ерохин А. Л., Светелик А. А.</i> О поддержке принятия решений при аварийных ситуациях в электрических сетях .....	28
<i>Лысенко Д. Л., Цибульский А. А., Чередников П. И.</i> Устройство моделирования энергетических процессов возбуждения элементов биосистем .....	31
<i>Волк М. А., Кобылин О. А., Саранча С. Н.</i> Формальный аппарат построения параллельных алгоритмов распознавания объектов распределенных баз данных .....	36
<i>Волколупова Р. Т.</i> Построение базы данных специального назначения .....	39
<i>Зима И. И., Телетнева Л. Г.</i> Обсуждение волновой природы информационного канала антиген-ген с позиций квантовой физики минимальных энергий .....	43
<i>Михаль О. Ф.</i> Локально-параллельный однородный алгоритм нечеткой операции контрастной интенсификации .....	47
<i>Филипповская Л. А.</i> Исследование структурно-аналитической модели распознавания образов в задачах управления и диагностики .....	51
<i>Сериков С. А.</i> Применение искусственных нейронных сетей для моделирования линейных электрических цепей .....	54
<i>Нестерцова С. А., Попова О. В., Цымбал А. М.</i> Реализация системы разработки планов для интеллектуального робота на языке C++ .....	62
<i>Величко О. Н.</i> Система регуляции уровня сахара в крови .....	65
<i>Коваленко А. И., Мунтян В. А., Пуятин В. П.</i> Математические модели семян по классификации Н. Н. Ульриха .....	70
<i>Верескун О. В., Мегель Ю. Е., Пуятин В. П.</i> Моделирование эталонов эмбрионов .....	79

## CONTENTS

<i>Bondarenko M., Kulibaba V., Solovyova E.</i> Base program toolkit for construction the systems tutoring to the fundamentals of sciences .....	3
<i>Lesnaya N.S., Repka V.B., Shatovskaya T.B.</i> The iterative ridge procedure of an estimation of model parameters .....	8
<i>Lesnaya N.S., Repka V.B.</i> About one approach to choice an effective method of biased estimation of models parameters of the quasistationary processes with neural networks application .....	15
<i>Kauk V.I., Levykin V.M., Chaliy S.F.</i> Application of paradigm of evolutionary classification attached to creation of functional software of information systems .....	18
<i>Lubchenco V.A., Putyatin E.P.</i> Mathematical models of normalization of a perspective .....	22
<i>Grib O., Yerokhin A., Svetelik A.</i> About support of acceptance of decisions at emergencies in electric networks .....	28
<i>Lisenko D.L., Thsibulski A.A., Cherednikov P.I.</i> The device of simulation of power processes of energization of units of biosystems .....	31
<i>Volk M.A., Kabilin O.A., Sarancha S.N.</i> Formal means of construction the parallel algorithms of recognition of the distributed databases objects .....	36
<i>Volkolupova R.T.</i> Construction of special aims bases .....	39
<i>Zima I.I., Telepneva L.G.</i> Discussion of wave nature of informative canal antigen-gene from positions of quantum physics of minimum energy .....	43
<i>Mikhal O.Ph.</i> Local-parallel uniform algorithm of fuzzy operation of contrast intensification .....	47
<i>Philipkovskaya L.A.</i> Research of structural-analytical model of a pattern recognition in problems of control and diagnostic .....	51
<i>Sericov S.A.</i> Application of simulated neuron networks for simulation of linear electric circuits .....	54
<i>Tsimbal A.M., Popova O.V., Nestertsova S.A.</i> The implementation of plan generator system for intellectual robot on C++ / .....	62
<i>Velichko O.N.</i> A regulation system of the glucose level in blood .....	65
<i>Putyatin V.P., Kovalenko A.I., Muntyan V.A.</i> Mathematical models of seeds by classification N.N.Ulrikh .....	70
<i>Vereskun O.V., Megel U.E., Putyatin V.P.</i> Simulation of the measurement embryos standards / .....	79

УДК 519.688

**Базовый программный инструментарий для построения обучающих систем основам дисциплин «TeachConcept» / М.Ф. Бондаренко, В.В. Кулибаба, Е.А. Соловьева // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 3-7**

Излагаются научные результаты, послужившие основой для создания инструментария, описывается программный инструментарий для построения систем обучения основам дисциплин, раскрываются принципы построения подобного рода систем. Новизна работы заключается в использовании системологического классификационного анализа, как основы моделирования знаний любых предметных областей, что позволяет унифицировать процесс построения концептуальной модели предметной области обучения, получить систему понятий, учитывающую существенные свойства объектов.

Ил. 6. Библиогр.: 4 назв.

УДК 519.688

**Базовий програмний інструментарій для розробки систем навчання засадам дисциплін «TeachConcept» / М.Ф. Бондаренко, В.В. Кулибаба, Е.О. Соловйова // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 3-7**

Представлені наукові результати, які стали основою для збудування інструментарію, описується програмний інструментарій для розробки систем навчання засадам дисциплін, розкриваються принципи збудування подібних систем. Новизна праці є у використанні системологического класифікаційного аналізу, як основи моделювання знань любых предметних областей, що дозволяє провести уніфікацію процесу збудування концептуальної моделі предметної області навчання, здобути систему понять, враховуючу суттєві якості об'єкту.

Ил. 6. Библиогр.: 4 назви.

UDC 519.688

**Base program toolkit for construction the systems tutoring to the fundamentals of sciences/ M. Bondarenko, V. Kulibaba, E.Solovyova // Problem of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2001. N 53. P. 3-7**

In this article are stated the scientific results which were taken as a base for toolkit creation. It describes the program toolkit for construction systems tutoring to the fundamentals of sciences and uncovers the principles of construction such kinds of systems. The novelty of work consists in using systemological classification analysis, as a base of modelling the knowledge about any subject domains, that allows to unify process of construction of conceptual model of a subject domain of training, and to receive the system of concepts, which are taking into account essential properties of objects.

6 fig. Ref.: 4 items.

УДК 681.5.01.

**Итерационная гребневая процедура оценки параметров модели / Н.С. Лесная, В.Б. Репка, Т.Б. Шатовская // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 8-12.**

Рассматривается процедура улучшения сходимости итерационного гребневого метода Harshman, основанная на применении оценок вырожденности. Показано, что наличие "болот" связано с наличием линейной связи между входными векторами.

Ил.2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.5.01.

**Ітераційна гребнева процедура оцінки параметрів моделі / Н.С. Лесна, В.Б. Репка, Т.Б. Шатовська // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 8-12.**

Розглядається процедура покращення сходження ітераційного гребневого методу Harshman, яка заснована на застосуванні оцінок виродженості. Показано, що наявність "болот" пов'язана з наявністю лінійного зв'язку між входними векторами.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назви.

UDC 681.5.01.

**The iterative ridge procedure of an estimation of model parameters / N.S. Lesnaya, V.B. Repka, T.B. Shatovskaya // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 8-12.**

In this paper, it is noted that serious two-factor degeneracies must produce an identifiable ill-conditioning in the least squares estimation step in Harshman. In an attempt to reduce the number of iterations that Harshman spends in a swamp, a particular method of stabilization is employed and results are presented which suggest that the number iterations can often be greatly reduced.

2 fig. Ref.: 4 items.

---

**УДК 519.7:007.52**

**Об одном подходе к выбору эффективного метода смещенного оценивания параметров моделей квазистационарных процессов с применением аппарата нейронных сетей / Н.С. Лесная, В.Б. Репка // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 13-17.**

Рассмотрена задача применения нейросетевой парадигмы к выбору метода смещенного оценивания параметров модели процесса. Приведены фрагменты нейронных сетей: вероятностной нейронной сети и сети Кохонена, которые в результате настройки параметров и обучения получили наименьшую контрольную ошибку. Также представлены входные и выходные характеристики обучающих выборок и проанализированы полученные результаты классификации.

Табл. 1. Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 519.7:007.52**

**Про один підхід до вибору ефективного методу зміщеного оцінювання параметрів моделей квазістаціонарних процесів з використанням апарату нейронних мереж / Н.С. Лесна, В.Б. Репка // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 13-17.**

Розглянута задача застосування нейромережевої парадигми до вибору ефективного методу зміщеного оцінювання параметрів моделі процесу. Наведені фрагменти нейронних мереж: ймовірнісної нейронної мережі та мережі Кохонена, які в результаті настройки параметрів та навчання отримали найменшу контрольну помилку. Також представлені вхідні і вихідні характеристики навчаючих вибірок та проаналізовані отримані результати класифікації.

Табл. 1. Іл. 2. Бібліогр.: 4 назви.

**UDC 519.7:007.52**

**About one approach to choice an effective method of biased estimation of models parameters of the quasistationary processes with neural networks application / N.S. Lesnaya, V.B. Repka // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 13-17.**

The task of application neural network paradigm to choice an effective method of the displaced parameter estimation of model of the process is considered. The fragments neural networks are reduced: probability neural network and Kohonen network, which have received the least check error after the customization of parameters and training. The entry and output characteristics of learning sampling are also represented and the obtained outcomes of classification are parsed.

1 tab. 2 fig. Ref.: 4 items.

---

**УДК 519.711**

**Применение парадигмы эволюционной классификации при создании функционального программного обеспечения информационных систем / В.И. Каук, В.М. Левыкин, С.Ф. Чалый // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 18-21**

Рассмотрены вопросы применения подходов, принятых в системах эволюционной классификации и генетическом программировании, при создании функционального программного обеспечения информационных систем. Сформулированы особенности построения прикладных программ, использующих парадигму систем классификации.

Библиогр.: 3 назв.

**УДК 519.711**

**Застосування парадигми еволюційної класифікації при створенні функціонального програмного забезпечення інформаційних систем / В.І. Каук, В.М. Левикін, С.Ф. Чалий // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 18-21.**

Розглянуті питання застосування підходів, які прийняті в системах еволюційної класифікації та генетичному програмуванні, при створенні функціонального програмного забезпечення інформаційних систем. Сформульовані особливості побудови прикладних програм, що використовують парадигму систем еволюційної класифікації.

Бібліогр. :3 назв.

**UDC 519.711**

**Application of paradigm of evolutionary classification attached to creation of functional software of information systems / V.I. Kauk, V.M. Levykin., S.F. Chaliy // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53 P. 18-22.**

The problems of application of the approaches accepted in systems of developmental classification and genetically programming at creation of the functional software of intelligence systems are surveyed The features of build-up of applications operating paradigm of systems classifications are formulated.

Ref.3 items.

---

---

**УДК 681.007.05/618.3.019**

**Математические модели нормализации перспективы / В.А. Любченко, Е.П. Путятин // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 22-27.**

Рассмотрены свойства перспективы и использование их при нормализации изображений. Установлено влияние смещения изображения на вид преобразования. Построены математические модели нормализации перспективы для несмещенного и смещенного изображений. Приведены алгоритмы компенсации преобразования перспективы.

Ил. 7. Библиогр.: 2 назв.

**УДК 681.007.05/618.3.019681.007.05/618.3.019**

**Математичні моделі нормалізації перспективи/ В.А. Любченко, Е.П. Путятін // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 22-27.**

Розглянуто властивості перспективи і використання їх при нормалізації зображень. Установлено вплив переміщення зображення на вид перетворення. Побудовано математичні моделі нормалізації перспективи для незміщеного і зміщеного зображення. Приведено алгоритми компенсації перетворення перспективи.

Іл. 7. Бібліогр.: 2 на

**UDC 681.007.05/618.3.019**

**Mathematical models of normalization of a perspective / V.A. Lubchenko, E.P. Putyatin // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 22-27.**

The properties of a perspective and usage them at normalization of the maps are surveyed. The influence of image shift to sort of conversion is detected. The mathematical models of normalization of a perspective for the unbiased and displaced maps are constructed. The algorithms of compensation of conversion of a perspective are reduced.

7 fig. Ref.: 2 items

---

**УДК 681.5.015**

**О поддержке принятия решений при аварийных ситуациях в электрических сетях / О.Г. Гриб, А.Л. Ерохин, А.А. Светелик // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 28-30.**

Рассмотрены проблемы повышения эффективности управления электрическими сетями при аварийных ситуациях. Предложена модульная структура геоинформационной системы управления электрическими сетями. Система позволяет осуществлять диагностику работоспособности оборудования сетей, моделировать и прогнозировать аварийные ситуации, принимать оптимальные управленческие решения.

Ил.2. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 681.5.015**

**Про підтримку прийняття рішень під час аварійних ситуацій в електричних мережах / О.Г. Гриб, А.Л. Єрохін, О.О. Светелік // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 28-30.**

Розглянуті проблеми підвищення ефективності управління електричними мережами під час аварійних ситуацій. Запропоновано модульну структуру геоінформаційної системи управління електричними мережами. Система дозволяє здійснювати діагностику дієздатності обладнання мереж, моделювати і прогнозувати аварійні ситуації, приймати оптимальні управлінські рішення.

Іл.2. Бібліогр.: 4 назви.

**UDC 681.5.015**

**About support of acceptance of decisions at emergencies in electric networks / O.Grib, A. Yerokhin, A.Svetelik / Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 28-30.**

Problems of increase of a management efficiency of electric networks at emergencies are considered. The modular structure of a geoinformation control system of electric networks is offered. The system allows carrying out diagnostics of serviceability of network equipment to model and predict emergencies, and to make optimum administrative decisions.

Fig.2. Refs: 4 items.

---

**УДК 621.822.014.001.57**

**Устройство моделирования энергетических процессов возбуждения элементов биосистем / Д.Л. Лисенко, А.А. Цибульский, П.И. Черединов // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 31-35.**

Предложено устройство позволяющее воспроизводить процесс энергетического возбуждения структурных элементов нервной клетки. В основу работы моделирующего устройства положен нелинейный характер зависимости энергоемкого параметра системы от приложенного внешнего воздействия. В качестве энергоемкого параметра выступает индуктивность нелинейного параметрического контура, резонансные явления в котором проявляются на частоте ( $\Gamma/2$  от частоты генератора накачки ( $\Gamma$ ). Моделирующее устройство работает в высших зонах неустойчивости (вторая субгармоника). Устройство позволяет моделировать возбуждение, генерацию потенциала действия и кратковременную память нервной клетки.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

---

УДК 621.822.014.001.57

**Пристрій моделювання енергетичних процесів збудження елементів біосистем / Д.Л.Лисенко, А.А.Цібутьський, П.І.Чередніков // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 31-35.**

Запропоновано пристрій, що дозволяє відтворювати процес енергетичного збудження структурних елементів нервової клітини. У основу роботи моделюючого пристрою призначено нелінійний характер залежності енергоємного параметра системи від прикладеного зовнішнього впливу. У якості енергоємного параметру виступає індуктивність нелінійного параметричного контуру, резонансні явища в якому виявляються на частоті ( $G/2$  від частоти генератора накачування ( $G$ ). Моделюючий пристрій працює у вищих зонах нестійкості (друга субгармоніка). Пристрій дозволяє моделювати збудження, генерацію потенціалу дії і короткочасної пам'яті нервової клітини.

Лл. 3. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 621.822.014.001.57

**The device of simulation of power processes of energization of units of biosystems / D.L. Lisenko, A.A.Thsibulski, P.I.Cherednikov // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. N 53. P. 31-35.**

It is offered the device allowing to reproduce the process of power energization of structural units of a nervous crate. In a basis of operation of an analog computer the nonlinear character of dependence of the power-intensive parameter systems from the enclosed external effect is fixed. As the power-intensive parameter the inductance of a nonlinear parametric outline appears, the resonant phenomena in which appear on frequency ( $G/2$  from frequency of the generator of pump ( $G/2$ . The analog computer works in maximum zones of instability (second subharmonic). The device allows to simulate energization, generation of potential of operation and volatile memory of a nervous crate.

3 fig. Ref.: 5 items.

---

УДК 519.7

**Формальный аппарат построения параллельных алгоритмов распознавания объектов распределенных баз данных / М.А. Волк, О.А. Кабылин, С.Н. Саранча // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 36-38.**

Рассмотрен вопрос построения эффективных алгоритмов распознавания объектов распределенных баз данных. В статье дана характеристика особенностей подобных баз и банков данных. Описан разработанный формальный аппарат описания и решения задач идентификации элементов глобальных баз данных.

Лл. 1. Библиогр.: 3 назв.

UDC 519.7

**Формальный аппарат построения параллельных алгоритмов распознавания объектов распределенных баз данных / М.О. Волк, О.О. Кобилін, С.Н. Саранча // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 36-38.**

Розглянуто питання побудови ефективних алгоритмів розпізнавання об'єктів розподілених баз даних. У статті дана характеристика особливостей подібних баз і банків даних. Описано розроблений формальний апарат опису і рішення задач ідентифікації елементів глобальних баз даних.

Лл. 1. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 519.7

**Formal means of construction the parallel algorithms of recognition of the distributed databases objects / M.A. Volk, O.A. Kabilin, S.N. Sarancha // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 36-38.**

The problem of construction effective algorithms of recognition of the distributed databases objects is considered. In paper the characteristic of features of similar bases and data banks is given. The designed formal system of the description and problem solving of identification of global databases elements is circumscribed.

1 tab. 1 fig. Ref.: 3 items.

---

УДК 62.501.72:57

**Построение баз данных специального назначения / Р.Т. Волколупова // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 39-42.**

Рассматривается метод построения специальной базы данных для исследования функционирования организационных систем, а также эффективный способ пользования ею.

Библиогр.: 3 назв.

UDC 62.501.72:57

**Побудова баз даних спеціального призначення / Р.Т.Волколупова // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. науч.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 39-42.**

Розглядається метод побудови спеціальної бази даних для дослідження функціонування організаційних систем, а також ефективний спосіб користування нею.

Бібліогр.: 3 назви.

---

**UDC 62.501.72:57**

**Construction of special aims bases / R.T.Volkolupova // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 39-42.**

The method of building of the special base of data for research into the function organization systems and the effective method of its using is considered.

Ref.: 3 items.

---

**УДК 577**

**Обсуждение волновой природы информационного канала антиген-ген с позиций квантовой физики минимальных энергий / И.И. Зима, Л.Г. Телепнева // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 43-46.**

На основе представлений роторной бионики анализируются процессы обнаружения и распознавания в канале антиген-ген. Приведена описательная модель функционирования канала.

Библиогр.: 6 назв.

---

**УДК 577**

**Обговорення хвильової природи інформаційного каналу антиген-ген з позицій квантової фізики мінімальних енергій / І.І. Зима, Л.Г. Телепнева // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. науч.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 43-46.**

На підставі представлень роторної біоніки аналізуються процеси виявлення і розпізнавання у каналі антиген-ген. Наведено описову модель функціонування каналу.

Бібліогр.: 6 назв.

---

**UDC 577**

**Discussion of wave nature of informative canal antigen-gene from positions of quantum physics of minimum energy / I.I. Zima, L.G. Telepneva // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 43-46.**

The processes of detection and recognition in the canal antigen-gene are discussed on the base of presentations of rotation bionics presentations. The descriptive model of canal of function presented.

Ref: 6 items.

---

**УДК 519 87**

**Локально-параллельный однородный алгоритм нечеткой операции контрастной интенсификации / О.Ф. Михаль // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 47-50.**

Предложен локально-параллельный вариант нечеткого алгоритма контрастной интенсификации. Отмечено, что алгоритм не нарушает нормальности, не смотря на субнормальность результата применяемой в нем процедуры локально-параллельного умножения. Представлено пошаговое описание алгоритма и тестовый пример. Обсуждены особенности его использования, в том числе модифицированный неравновесный вариант.

Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

---

**УДК 519 87**

**Локально-паралельний однорідний алгоритм нечіткої операції контрастної інтенсифікації / О.П. Міхаль // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. науч.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 47-50.**

Запропоновано локально-паралельний варіант нечіткого алгоритму контрастної інтенсифікації. Відзначено, що алгоритм не порушує нормальності, не дивлячись на субнормальність результату застосовуваної в ньому процедури локально-паралельного множення. Представлено покроковий опис алгоритму і тестовий приклад. Обговорено особливості його використання, у тому числі модифікований нерівновагий варіант.

Іл. 2. Бібліогр.: 3 назви.

---

**UDC 519 87**

**Local-parallel uniform algorithm of fuzzy operation of contrast intensification. / O.Ph. Mikhal // Problems of Bionics: All-Urk. Sci. Interdep. Mag. 2000. N 53. P. 47-50.**

Local-parallel variant of fuzzy algorithm of contrast intensification is proposed. Noted that in spite of sub normality of result of local-parallel multiplying procedure, applicable in him the algorithm preserves to normalcy, in spite of sub normality of result of local-parallel multiplying procedure, applicable in him. Incremental description of algorithm and test example is presented. Some particularities of its use are discussed, including unbalanced modified variant.

2 fig. Ref.: 3 items.

---

---

**УДК 681.327.12**

**Исследование структурно-аналитической модели распознавания образов в задачах управления и диагностики / Л.А. Филипповская // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 51-53.**

Для управления и диагностики решается задача анализа экспериментальных данных с использованием структурно-аналитических моделей распознавания образов с разнотипными признаками. Результаты позволяют оценить структурную сложность грамматических правил классификации.

Библиогр.: 2 назв.

**УДК 681.327.12**

**Дослідження структурно-аналітичної моделі розпізнавання уяв у задачах керування і діагностики / Л.О. Філіпповська // Проблеми біоніки: Всеукр.міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 51-53.**

Для керування і діагностики вирішується задача аналізу експериментальних даних із використанням структурно-аналітичних моделей розпізнавання уяв із різнотипними ознаками. Результати дозволяють оцінити структурну складність грамагичних правил класифікації.

Бібліогр.: 2 назви.

**UDC 681.327.12**

**Research of structural-analytical model of a pattern recognition in problems of control and diagnostic / L.A. Philipkovskaya // Problem of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 51-53.**

For handle and diagnostic the task of the analysis of experimental data with usage of structural - analytical models of pattern recognition with varied tags is solved. The outcomes allow estimating structural complexity of grammar rules of classification.

Ref.: 2 items.

---

**УДК 681.3:518.5**

**Применение искусственных нейронных сетей для моделирования линейных электрических цепей / С.А. Сериков // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 54-61.**

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований моделирования в реальном масштабе времени линейных электрических цепей при случайных входных воздействиях при помощи трехслойных искусственных нейронных сетей различной конфигурации с линейными и логистическими активационными функциями нейронов.

Ил.12. Библиогр.: 2 назв.

**УДК 681.3:518.5**

**Застосування штучних нейронних мереж для моделювання лінійних електричних ланцюгів / С.А. Серіков // Проблеми біоніки: Всеукр.міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 54-61.**

Розглянуто результати експериментальних досліджень моделювання в реальному масштабі часу лінійних електричних ланцюгів при випадкових входніх впливах за допомогою штучних нейронних мереж різної конфігурації з лінійними і логістичними активаційними функціями нейронів.

Іл.12. Бібліогр.: 2 назв.

**UDC 681.3:518.5**

**Application of simulated neuronc networks for simulation of linear electric circuits / S.A .Sericov // Problem of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 54-61.**

The outcomes of experimental researches of real-time simulation of linear electric circuits surveyed at random input actions through trizonal simulated neuronc networks of the different configuration with linear and logistics activation functions of neuronc.

12 fig. Ref.: 2 items.

---

**УДК 621.865.8**

**Реализация системы разработки планов для интеллектуального робота на языке C++ / С.А. Нестерцова, О.В. Попова, А.М. Цымбал // Проблемы бионики: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 62-64**

Рассмотрены вопросы реализации системы разработки планов на языке C++ при управлении интеллектуальным роботом. Описан класс и методы системы разработки планов. Система включает механизм принятия решений, базу данных предметной области, функции реализации действий робота в предметном пространстве.

Библиогр.: 3 назв.

**УДК 621.865.8**

**Реализация системы розробки планів для інтелектуального робота мовою C++ / О.М. Цимбал, О.В. Попова, С.О. Нестерцова // Проблеми біоніки: Всеукр.міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 62-64.**

Розглянуто питання реалізації системи розробки планів мовою C++ щодо керування інтелектуальним роботом. Описано клас та методи системи розробки планів. Система містить механізм прийняття рішень, базу даних предметної площини, функції реалізації дій робота у предметному просторі.

Бібліогр.: 3 назв.

---

**UDC 621.865.8**

**The implementation of plan generator system for intellectual robot on C++ / A.M. Tsimbal, O.V. Popova, S.A. Nestertsova // Problem of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. № 53. P. 62-64.**

There are considered the problems of plan generator system implementation in C++ for intellectual robot control. The class and methods of plan generator system are described. System contains the problem solver mechanism, application domain database, and the functions of robot activity implementation in application domain.

Ref 3.

---

**УДК 615.47:616-085**

**Система регуляції рівня сахара в крові. / О.Н.Величко // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 65-69.**

Приведена обшая схема регулювання сахара с входящими в нее подсистемами, рассмотрение которой ограничивается анализом взаимосвязи между двумя основными ее элементами: сахаром и инсулином. Решение задачи определения требуемой дозы инсулина, зависящей от уровня сахара в крови, предполагает создание биотехнической системы. Рассмотрены возможные варианты таких систем: разомкнутая комплексная система управления; комплексная система управления с обратной связью, замкнутой через модель; дискретно - замкнутой комплексной системы управления; система управления с адаптирующей моделью. Проанализирована возможность применения каждого типа системы к решению поставленной задачи, предлагается использовать систему управления с адаптирующей моделью.

Ил. 4. Библиогр.: 4 назв.

**УДК 615.47:616-085**

**Система регуляції рівня цукру в крові. / О.М.Величко // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 65-69.**

Приведено загальну схему регулювання цукру з підсистемами, що складають її структуру, розгляд якої обмежується аналізом взаємозв'язку між двома основними її елементами: цукром і інсуліном. Рішення задачі визначення необхідної дози інсуліну, що залежить від рівня цукру в крові, припускає створення біотехнічної системи. Розглянуті можливі варіанти таких систем: розімкнуту комплексну систему керування; комплексну систему керування зі зворотною зв'язок, замкнутої через модель; дискретно - замкнутої комплексної системи керування; система керування з моделлю, що адаптується. Проаналізувавши можливість застосування кожного типу системи до рішення поставленої задачі, пропонується використовувати систему керування з моделлю, що адаптується.

Ил. 4. Библиогр.: 4 назви.

**UDC 615.47:616-085**

**A regulation system of the glucose level in blood. / O.N.Velichko // Problems of Bionics: All-Urk. Sci. Interdep. Mag. 2000. N 53. P. 65-69.**

The common scheme of the glucose control with its incoming subsystems is giving. Its consideration is confined with analysis of the relation between its main elements: glucose and insulin. The decision of the task of determination the required dose of the insulin depending on glucose level in blood, suppose the creation of a bio technical controls system. The possible versions of such systems are considered: the disconnected complex controls system; the complex control system with feedback across a model; the discretely closed complex control system; the control system with a specializing model. Having analysed a feasibility of each type of the system to solution of the set task, it is offered to use a management system with adapted model.

4 fig. Ref.: 4 items.

---

**УДК 631.53.02**

**Математические модели семян по классификации Н.Н. Ульриха / А.И. Коваленко, В.А. Мунтян, В.П. Путятин // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 70-78.**

Рассмотрен вопрос построения математических моделей эталонов семян сельскохозяйственных культур согласно классификации Н.Н. Ульриха. На основе применения теории R - функций получены математические модели геометрических характеристик внешней формы семян, которые дают возможность на основе метода сравнения с эталоном перейти к оценке качества образца семян.

Ил. 10. Библиогр.: 11 назв.

**УДК 631.53.02**

**Математичні моделі насіння за класифікацією Н.Н. Ульріха / О.І. Коваленко, В.О. Мунтян, В.П. Путятін // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 70-78.**

Розглянуто питання побудови математичних моделей еталонів насіння сільськогосподарських культур за класифікацією Н.Н. Ульріха. На основі застосування теорії R - функцій одержані математичні моделі геометричних характеристик зовнішньої форми насіння, що дозволяє на основі методу порівняння з еталоном перейти до оцінки якості зразка насіння.

Ил. 10. Библиогр.: 11 назв.

UDC 631.53.02

**Mathematical models of seeds by classification N.N.Ulrikh / V.P. Putyatin, A.I. Kovalenko, V.A. Muntyan // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 2000. N 53. P. 70-78.**

The problem of build-up of mathematical models of the measurement standards of seeds of agricultural cultures according to classification of N.N.Ulrikh is surveyed. On the basis of application of the theory R - functions the mathematical models of the geometrical characteristics of an exterior form of seeds are obtained, which one enable on the basis of a method of matching with the measurement standard to proceed to an estimation of quality of a sample seeds.

10 fig. Ref.: 11 items.

УДК 577.3

**Моделирование эталонов эмбрионов / О.В. Верескун, Ю.Е. Мегель, В.П. Путятин // Проблемы бионики: Всеукр. науч.-техн. сб. 2000. Вып. 53. С. 79-86.**

На базе теории R-функций построены математические модели эмбрионов, особенностью подхода является применение операций R-конъюнкции и R-дизъюнкции для описания бластоцитов, как сложных образцов, путем последовательного описания более простых составляющих изображений зиготы и морулы на разных стадиях развития.

Ил. 5. Библиогр.: 3 назв.

УДК 577.3

**Моделювання талонів ембріонів / О.В. Верескун, Ю.Є. Мегель, В.П. Путятин // Проблеми біоніки: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. 2000. Вип. 53. С. 79-86.**

На базі теорії R-функцій збудовані математичні моделі ембріонів, особливістю підходу є застосування операцій R-кон'юнкції і R-диз'юнкції для описування бластоцитів, як складних прикладів, шляхом послідовного описування більш простих складових зображення зиготи та морули на різних стадіях розвитку.

Іл. 5. Бібліогр.: 3 назви.

UDC 577.3

**Simulation of the measurement embryos standards / O.V. Vereskun, U.E.Megel, V.P. Putyatin // Problems of Bionics: All-Ukr. Sci. - Interdep. Mag. 2000. N 53. P. 79-86.**

The embryos mathematical models are constructed on the basis of R-functions. A feature of the approach is the application of operations of R-conjunction and R-disjunction for the description of blastocytes, as composite models; by the series description more simple maps components of zygote and morula at miscellaneous stages of development.

Fig. 5. Ref.: 3 items.