

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»
(ГОУ ВПО «ЮРГУЭС»)
Волгодонский институт сервиса (филиал) ЮРГУЭС

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Сборник научных трудов

ШАХТЫ
Издательство ЮРГУЭС
2008

УДК 004
ББК 32.97
И741

Редакционная коллегия:

А.Н. Берёза, к.т.н., доцент (председатель редакционной коллегии);

Д.А. Безуглов, д.т.н., профессор;

И.А. Ким, к.т.н., доцент;

А.В. Коротков, д.ф.-м.н., академик МАСИ;

В.М. Курейчик, д.т.н., профессор;

В.Е. Мешков, к.т.н., профессор;

Н.Н. Никуличев, к.т.н., доцент;

В.В. Семенов, к.т.н., доцент

И741 Информационные системы и технологии. Теория и практика :
сб. науч. тр. / под ред. А.Н. Берёза. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2008. –
188 с.
ISBN 978-5-93834-371-9

В тематическом сборнике «Информационные системы и технологии. Теория и практика» включены работы ученых, проводящих исследования в следующих областях: теоретические основы информатики, интеллектуальные информационные системы, оптоинформатика, системы автоматизации проектирования, перспективные информационные технологии, информационно-управляющие и вычислительные системы и приборы, информационные технологии в образовании.

Настоящий сборник предназначен для широкого круга научных работников и специалистов, а также студентам старших курсов, магистрантам и аспирантам.

Тексты набраны с авторских оригиналов. Редакционная коллегия просит извинения за возможные неточности, возникшие в процессе компьютерной верстки издания.

УДК 114
ББК 32.97

ISBN 978-5-93834-371-9

© Южно-Российский государственный
университет экономики и сервиса, 2008
© ВИС (филиал) ЮРГУЭС, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
--------------------------	----------

РАЗДЕЛ 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

Светлаков А.Н. Размерности пыли двумерных и трёхмерных разветвлённых фрактальных структур.....	6
Коротков А.В. Многозначные алгебры логики.....	17
Коротков А.В. Не Булевы алгебры логики.....	24

РАЗДЕЛ 2 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Мешков В.Е. Рациональный выбор конфигурации персонального компьютера на основе нечетких множеств	30
Берёза А.Н., Стороженко А.С., Бегляров В.В. Применение муравьиных алгоритмов для анализа развития популяций в многопопуляционных алгоритмах.....	33
Стороженко А.С. Инструментальная среда проектирования алгоритмов на основе интеллектуальных методов «АPlab»	39

РАЗДЕЛ 3 ОПТОИНФОРМАТИКА

Павлов А.В. Оптоинформатика – оптические информационные технологии как ответ на актуальные вызовы информатики.....	46
Павлов А.В. Об интеграции логического и образного мышления методом голографии Фурье.....	50
Алексеев А.М., Павлов А.В. Реализация логико-лингвистического моделирования методом Фурье-голографии: логика с исключениями...	61
Павлов А.В. Реализация некоторых механизмов парадигмы функциональной системы Анохина методом Фурье-голографии	67
Орлов В.В. Структура памяти человека: голографическая модель	79
Безуглов Д.А., Сахаров И.А., Решетникова И.В. Разработка и исследование метода оптимизации топологии датчика фазового фронта	83

РАЗДЕЛ 4 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Кобелев А.С., Родионова И.В., Игнатов С.В. Новые возможности прикладной электромашиностроительной САПР.....	93
Мешков В.Е. Анализ структурных и схмотехнических решений на основе эвристического алгоритма	101
Берёза А.М., Ляшов М.В. Построение аппаратного ускорителя для систем автоматизированного проектирования	108

РАЗДЕЛ 5 ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Мешкова Е.В. Разработка гибридной нейросетевой модели для автоматической классификации текста.....	114
---	-----

РАЗДЕЛ 6 ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ

Прокопенко Н.Н., Никуличев Н.Н. Применение управляемых коммутаторов тока для нелинейной коррекции стабилизаторов напряжения.....	121
Ким И.А., Ким А.И. Автоматизированная оросительная система с низконапорными дождевальными машинами кругового действия с гидроприводами «Фрегат».....	126
Ермолаева Н.В., Литвин Н.В. Перспективы применения пятикомпонентных твердых растворов $a^{III}b^V$ в техническом обеспечении информационных систем	138
Ермолаева Н.В., Литвин Н.В. Моделирование основных технологических параметров получения перспективных материалов в области информационных технологий	146

РАЗДЕЛ 7 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Ханжонков Ю.Б., Семенов В.В., Фетисов В.М., Асцатуров Ю.Г. Опыт применения активных методов обучения на кафедре «информатика» ВИС ЮРГУЭС	153
Курейчик В.М., Писаренко В.И. Инновационное образование в контексте синергетической парадигмы.....	165

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время развитие информационных систем и технологий основывается на разработке новых математических и алгоритмических средств, интеллектуальных методов и моделей, совершенствовании полупроводниковых и оптических технологий.

Сборник состоит из семи тематических разделов: «Теоретические основы информатики», «Интеллектуальные информационные системы», «Оптоинформатика», «Системы автоматизации проектирования», «Перспективные информационные технологии», «Информационно-управляющие и вычислительные системы и приборы», «Информационные технологии в образовании».

В первый раздел включены работы, посвященные теоретическим основам информатики. В работах известных российских ученых отражены новые научные знания о применении перспективных математических парадигм, таких как фракталы и многомерные логики.

Во втором разделе представлены работы, предлагающие новые подходы к построению интеллектуальных информационных систем.

В третьем разделе собраны научные работы, касающиеся нового перспективного направления – оптоинформатика.

В четвертый раздел включены работы, в которых предложены новые подходы к созданию интеллектуальных систем автоматизации проектирования.

В пятом разделе представлена работа, в которой предлагается новейший подход к построению информационно-поисковых систем и разработке интеллектуальных систем поиска.

Шестой раздел посвящен технологическим и схемотехническим аспектам разработки новых информационных систем.

В седьмом разделе представлены работы по проблемам информатизации образования и внедрению перспективных информационных технологий в образование.

Настоящий сборник предназначен для широкого круга инженерных и научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов, научные интересы которых связаны с разработкой и использованием информационных систем и технологий, основанных на новейших принципах.

Сборник подготовлен при непосредственном участии сотрудников кафедры «Информатика» ВИС ЮРГУЭС.

Редакционная коллегия заранее благодарна за отзывы и замечания, которые следует направлять по адресу: 347375, Россия, Ростовская обл., г. Волгодонск, ул. Черникова, 6, ВИС ЮРГУЭС, кафедра «Информатика».

РАЗДЕЛ 1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

УДК 519.6

© Светлаков А.Н., 2008

РАЗМЕРНОСТИ ПЫЛИ ДВУМЕРНЫХ И ТРЁХМЕРНЫХ РАЗВЕТВЛЁННЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Рассмотрены вопросы вычисления фрактальной размерности пыли для разного рода разветвлённых структур. Поставлены проблемные вопросы в области вычисления численных характеристик пылевых фракталов и мультифракталов на плоскости и в трёхмерном пространстве.

Введение. Фрактальными называют структуры, самоподобные в каком-то смысле [7]. Эффективным инструментом для описания фрактальных процессов и структур является рекурсивная функция $f(x)$, $f(f(x))$, $f(f(f(x)))$, Рекурсия может осуществляться разными путями, например, через прямое произведение матриц [1]. В обобщенном виде фрактальный подход реализуется в так называемой синергетической фрактальной парадигме, утверждающей, что мир фрактален от атома до вселенной.

К фрактальным механизмам регулирования живой природы относится биогенетический закон Мюллера и Геккеля, утверждающий, что онтогенез повторяет филогенез, т.е. организм в процессе своего индивидуального развития обнаруживает тенденцию вновь проходить стадии эволюции. Известны примеры природных разветвленных структур, являющихся фракталами, но, кроме того, существует большое число примеров фрактальных структур, которые не являются собственно природными, но артефактами. Среди них ньютоновы притягивающие множества; странные аттракторы; графы сложных технологических схем; нейронные сети; колебания цен и биржевых индексов; улицы больших городов; числа Фибоначчи; башенные системы счисления.

Известно, что фрактальные размерности не являются не только исчерпывающими, но даже определяющими характеристиками фрактальных структур [1]. Поэтому необходимо, во-первых, определить рамки применения фрактальных размерностей и детально выявить их смысл и, во-вторых, обсудить другие интегральные характеристики фрактальных структур.

Подобно и Бенуа, Мандельброт в своём фундаментальном труде [7] отмечал: «Может сложиться впечатление, что понятие фрактала неразрывно связано с самоподобием. Это решительно не так...».

Одной из основных характеристик мультифрактала является набор вероятностей p_i , показывающих относительную заселенность ячеек ε , которыми мы покрываем это множество. Чем меньше размер ячейки, тем меньше величина ее заселенности. Для самоподобных множеств зависимость p_i от размера ячейки ε имеет степенной характер, где α_i представляет собой некоторый показатель степени. Известно, что для регулярного фрактала все показатели степени α_i одинаковы и равны фрактальной размерности D [2].

Рассмотрим общую схему нахождения корреляционной фрактальной размерности пыли:

1. Цифровое представление информации об объекте.
2. Преобразование исходной информации в матрицу координат точек фрактальной пыли.
3. Вычисление корреляционной фрактальной размерности пыли и других характеристик.

К сложностям осуществления первого этапа относятся:

1. Осевое сечение представительно только для разреженных структур. Для деревьев, более полно осваивающих пространство, возможно лишь оценить корреляционную фрактальную размерность пыли снизу. Радиальное сечение получить вообще технически достаточно сложно. Необходимо либо механическое вмешательство (съемка при санитарных рубках), либо подбор специальных ракурсов (съемка снизу, съемка низкорослых объектов). Информацию о чисто трехмерных объектах получить можно лишь в единичных случаях для оценки.

2. Преобразование цифровой фотографии в матрицу координат фрактальной пыли также имеет ряд сложностей.

Перечень представленных характеристик фенотипа:

- фрактальная размерность двумерных проекций веток;
- фрактальная размерность границы крон;
- характеристики кортежей;
- корреляционная фрактальная размерность пыли (осевого, радиального сечения и трехмерный случай);
- диаметры протекания.

1. Представление информации о дереве, как трёхмерном объекте.

Известно, что деревья являются так называемыми немасштабируемыми фракталами [7]. Дерево в целом не самоподобно – фрактальная размерность D не совпадает с диаметрическим коэффициентом Δ , который связы-

вает диаметры ветвей настоящего дерева до и после разветвления d , d_1 и d_2 . $d^\Delta = d_1^\Delta + d_2^\Delta$. Самоподобия можно ожидать лишь для множества фрактальных остатков – концов веток и может быть для вершин точек разветвления. Исключение составляют лишь капуста брокколи, домашний бамбук и папоротник.

С точки зрения теории графов ветка дерева или, точнее, ее плоская проекция является ориентированным деревом, т.е. связным графом без циклов. Вершинами графа, соответствующего ветке, являются конечные точки (висячие вершины) и естественные точки разветвления. Висячим вершинам приписывается первый уровень. Для установления изоморфизма деревьев применяется процедура кортежирования. Для изоморфизма деревьев необходимо и достаточно, чтобы совпадали их центральные кортежи. Существуют процедуры порождения всех деревьев без повторения и изоморфных. Если по плоским проекциям веток дерева строить графы и находить их центральные кортежи, то можно получить как центральные, так и бицентральные деревья. По центральным кортежам можно восстановить вид дерева. Здесь теория графов имеет ограниченное применение, т.к. длины дуг графа произвольны, и в этом отношении граф не тождествен реальной разветвленной структуре. Однако исследование веток реального дерева как фрактала показало, что влияние нефрактальной составляющей для определения фрактальной размерности незначительно. Это позволило осуществить идею порождения из центральных кортежей изоморфных деревьев семейства разветвленных структур с заданной фрактальной размерностью. Можно ввести условный изоморфизм при условии сравнения числа вершин (обламывания веточек), а также стягивания ребра между центрами бицентральных деревьев. Интересен взгляд на реальное дерево как крону вместе с корневой системой. В этом случае можно указать связь между процедурой кортежирования и этапами роста реального дерева.

Задача определения и нахождения численных параметров, характеризующих геометрию крон деревьев, т.е. фенотип, актуальна для определения видов, моделирования, учета аномалий и установления связи фенотип – генотип. С математической стороны плоская проекция ветки дерева без самопересечений есть дерево, как определяет это понятие теория графов. К этим структурам применима процедура кортежирования и теорема об изоморфизме. На графе вводится естественная ориентация, совпадающая с направлением роста.

Недостатком этого подхода является то, что в графе отсутствует понятие длины дуги графа, но это ограничение можно обойти, что показано ниже. Во взгляде на дерево как фрактал имеется ряд естественных допущений. Важнейшими являются влияние нефрактальной составляющей на величину фрактальной размерности, а также способа проецирования ветки (трехмерного объекта) на плоскость. Исследования показали малое влия-

ние нефрактальной составляющей и способа проецирования ветки на плоскость. В научной литературе мало статей посвящено определению фрактальной размерности крон деревьев. Это объясняется трудностью определения фрактальной размерности при кластерном подходе, когда реальный объект подвергается многочисленным влияниям окружающей среды: воздействием окружающего ансамбля растительности, освещенности, ветровой закрутки, болезней, механических повреждений и т.д.

Предварительным этапом автоматизированной обработки визуальной информации о разветвленной структуре является правка, которая заключается:

- в закрашивании белых пятен (для структур без самопересечений);
- связывании разорванных звеньев.

Первым этапом обработки является автоматизированное кортежирование: выявление и пересчет висячих вершин и в результате нахождение центральных кортежей. В случае бицентрального дерева применяется процедура стягивания вершин.

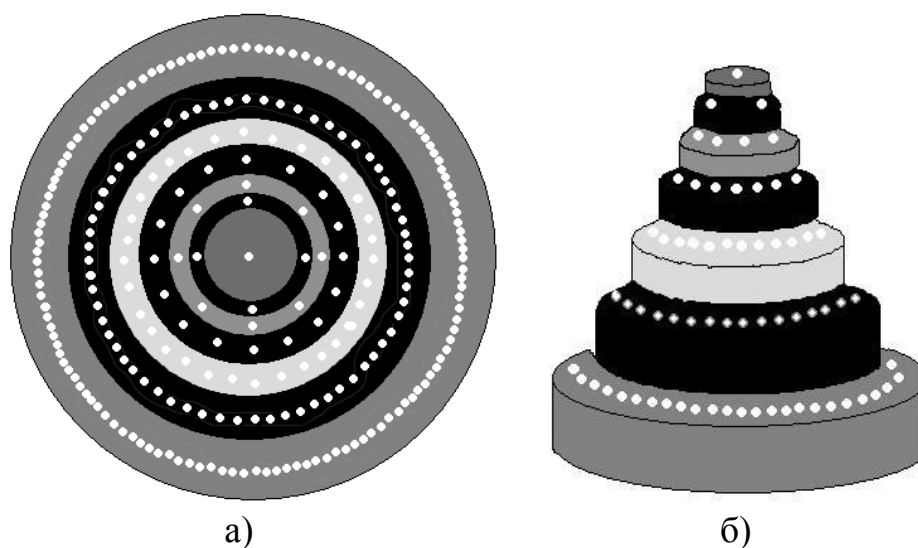


Рис. 1. Пример пылевидной структуры, имеющей заданную фрактальную размерность (белые точки): а) двумерный случай; б) та же структура, развёрнутая в трёхмерную

Вторым этапом является выявление изоморфизма исследуемой структуры с прототипами архива. Изоморфизм эквивалентен равенству центральных кортежей, поэтому необходимо модифицировать граф путем отбрасывания висячих вершин, чтобы полученный кортеж стал равен кортежу прототипа архива. Указанная процедура позволяет определить вид или подвид дерева или кустарника по ветке, другому фрагменту кроны или корневой системе. Кроме того, она позволяет определять характер

аномалий внутри вида. Исследование на изоморфизм происходит одновременно с определением фрактальной размерности, тем более что графические преобразования для этих операций во многом аналогичны. Более того, только с помощью процедуры кортежирования, т.е. переходя от предфрактала порядка n к предфракталу порядка $(n-1)$, можно вычислить фрактальную размерность, оценив погрешность. Нередко случается, что при определении фрактальной размерности методом покрытий зависимость $N=N(\delta)$, где δ – диаметр покрывающего множества, в двойной логарифмической системе координат далека от линейной.

По центральным кортежам можно восстановить вид дерева. Здесь теория графов имеет ограниченное применение, т.к. длины дуг графа произвольны, и в этом отношении граф не тождествен реальной разветвленной структуре. Однако исследование веток реального дерева как фрактала показало, что влияние нефрактальной составляющей для определения фрактальной размерности незначительно. Это позволило осуществить идею порождения из центральных кортежей изоморфных деревьев семейства разветвленных структур с заданной фрактальной размерностью. На дерево можно смотреть и как на ориентированный граф, если взять за ориентацию ребра направление роста. Дерево, таким образом, можно представить как пучок прутьев, которые в некоторой совокупности и в надлежащей точке подвязываются. Это дает возможность учесть уменьшение толщины от ствола к ветке.

Для каждой висячей вершины можно указать целое число, характеризующее ее удаленность от центра, если найти длины гипотетических прутьев и взять наибольший общий делитель их длин, что позволит учесть реальные длины веток. Пространственное же расположение ветки не играет большой роли при определении многих интегрированных характеристик, например, фрактальной размерности. Более важным является, скажем, отсутствие самопересечений. Все сказанное относится и к системе крона-корень, т.к. направление роста корневой системы определяется также естественным образом. Исходя из этой схемы, можно породить все возможные деревья с заданным числом висячих вершин.

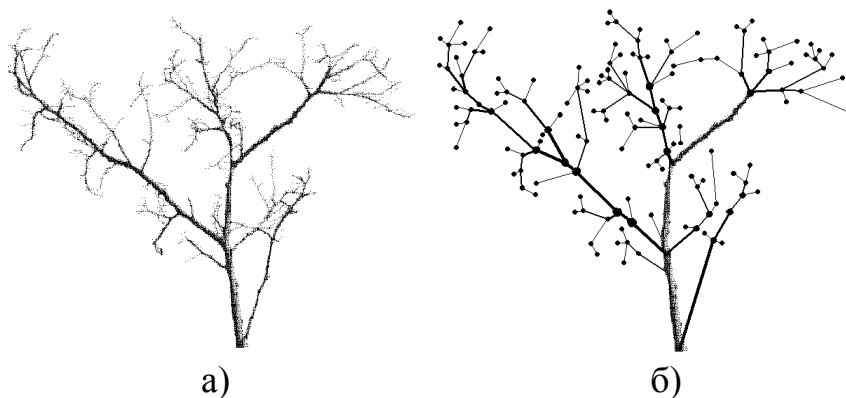


Рис. 2. Фотоснимок ветки (а); псевдограф (б)

Можно создать для данного вида некоторое осредненное дерево, которое будет давать все основные геометрические характеристики крон с известной погрешностью. Кorteж нового модернизированного графа дает о дереве максимум информации, кроме того, он позволяет восстановить само дерево не только в смысле топологии, но и как его фотографию или голограмму. Происходит архивация картинок природных ландшафтов. Прикладное значение этот подход имеет и для деревьев, растущих в особых условиях. При наличии ветровой закрутки ствола, механических воздействий (срезания части кроны, наличия трещин, воздействия болезней и т.д.) особое место имеет исследование изменения фрактальной размерности при деформировании кроны, например, подстрижке деревьев. Будет ли, например, восстанавливаться фрактальная размерность тополя, срезанного на высоте двух метров с единицы до старого нецелого значения при восстановлении кроны. Тополь при такой подрезке первое время становится похожим на бузину. Взгляд на дерево, как граф, порождает множество неожиданных результатов и интересных задач. Топология деревьев характеризуется рядом параметров: фрактальной размерностью структуры, фрактальной размерностью пыли (фрактального остатка), диаметрическим коэффициентом, corteжем и т.д. Исследования некоторых из них в трехмерном случае наталкиваются на большие технические трудности. Несмотря на указанные трудности удалось экспериментально определить фрактальную размерность ветки ольхи методом покрытия в трехмерном случае (99 точек фрактального остатка), а также фрактальную размерность пыли, и установить зависимость этих величин и сравнить их с аналогичными зависимостями для корневых систем. В настоящее время часто возникают задачи получения трехмерных виртуальных моделей реальных объектов, нахождение реальных размеров объектов (сложных корпусов, профилей, натуральных моделей и т.д.). Один из методов – восстановление трехмерной структуры по её плоскому изображению (фотограмметрия). Техническое и программное обеспечение современной фотограмметрии применяется в геодезии и картографии, военном деле, космических исследованиях, для создания 3D моделей промышленных установок, архитектуры и др. Серьезная проблема связана со сравнением различных подходов, реализующих задачу реконструкции трехмерных моделей по цифровым изображениям [15], в частности, оценка точности получаемых геометрических параметров.

Для не слишком высоких (до трёх метров) и с не слишком густой кроной деревьев можно предложить метод съёмки кинокамерой с последующим определением координат всех характерных точек (концов веток и точек разветвления).

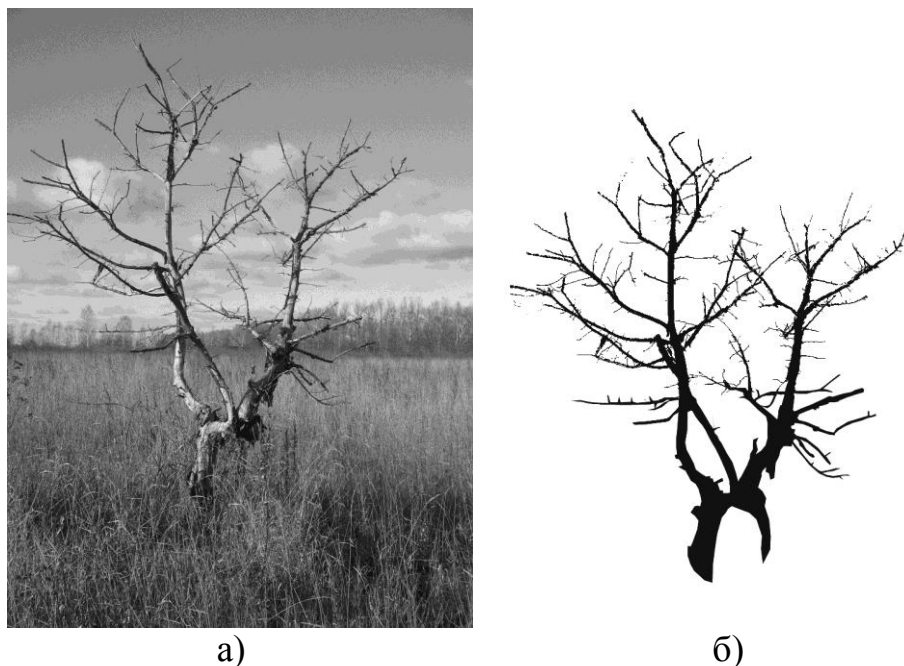


Рис. 3. Представление информации о дереве как трёхмерном объекте:
а) исходный снимок (яблоня); б) контур после компьютерной обработки

План съёмки трёхмерного объекта для полного восстановления топологии:

1. Начинать съёмку с направления «на тебя» конца самой длинной ветки.
2. Пометить максимально возможное число концов веток, надев на них разноцветные колпачки или ленты.
3. Замерить характерные расстояния между отмеченными точками.

Определение координат точек пыли в цилиндрической системе координат:

1. Отмеченная точка посредством вращения фиксируется в положении, когда расстояние на снимке от неё до оси z наибольшее.
2. Отмечается угол радиуса-вектора вокруг оси z (полярный угол).
3. Отмечается координата z .
4. Отмечается длина проекции на ось z (полярный радиус).

В работе [13] предложен пример построения множества точек пыли на плоскости с орбитальной структурой, которая имеет определённую корреляционную фрактальную размерность. Однако, если развернуть эту структуру в трёхмерное пространство, подобно тому как раздвигается и сдвигается в блин детская пирамидка (рис. 1), и при этом повернуть кольца на малый угол, то мы получим существенно трёхмерную структуру с той же, что и плоская структура, фрактальной размерностью. В связи с этим тот факт, что становится очень распространённым вычислять фрактальные размерности, используя компьютерную томографию [16], не означает, что существенная трёхмерность структур является определяющей.

2. Фрактальная размерность сложных технологических схем.

Тенденции развития современных вычислительных систем говорят о необходимости разработки эффективных методов моделирования и оптимизации сетей больших размеров. Та же тенденция отмечается и в таких областях, как проектирование СБИС, биологические нейронные сети, транспортные системы. Большими считаются такие сети, которые содержат не менее 10^5 стягивающих деревьев.

Для разработки систематизированной основы синтеза больших систем формируется набор канонических фрактальных граф-схем. Функцию плотности узлов можно рассматривать как число узлов на единицу объема в соответствующей топологической размерности [10].

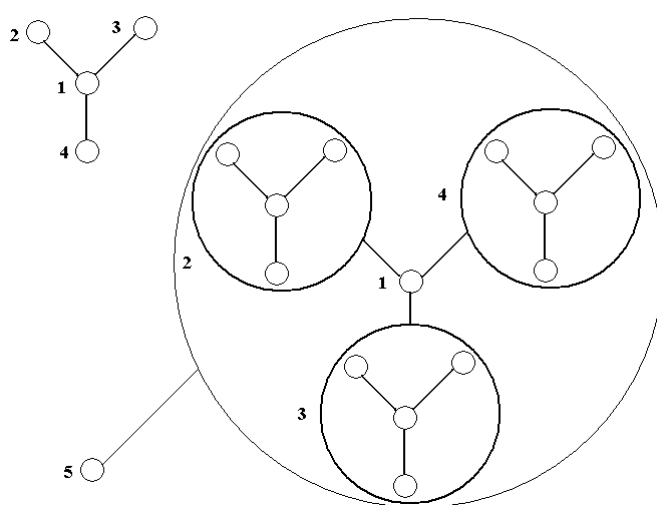


Рис. 4. Пример граф-схемы с фрактальной структурой, включающей три уровня иерархии

Такой подход позволяет говорить о фрактальном кластере, так как число узлов монотонно спадает в направлении от некоторой центральной точки.

Системный принцип иераричности построения математических моделей допускает возможность самоподобия в структуре граф-схем. Для этого граф-схемы агрегатов всех уровней иерархии должны быть в каком-то смысле подобны. Приведём простой пример.

Конечно, на глаз трудно определить в последовательности граф-схем по уровням иерархии подобие. Это можно установить, рассматривая их как систему предфракталов. Поскольку фрактальные размерности не отражают таких свойств графа, как направленность связей, наличие рециклов и т.д., то, возможно, следует рассчитывать корреляционную фрактальную размерность D_2 . Подсчёт корреляционной фрактальной размерности сопряжен со многими сложностями. Одна из них – способ расположения вершин друг относительно друга. Здесь есть степень свободы для исследователя.

Например, для потоковых графов длину дуг и их направление можно связать с величиной и направлением потока от вершины к вершине. Что касается пространственного расположения кластеров, то это не оказывает большого влияния на величину фрактальной размерности [12].

Иногда, правда, для насыщенных связями графов приходится рассматривать трёхмерные структуры, но для вычисления корреляционной фрактальной размерности это больших сложностей не приносит. Кроме того, естественно ограничить кластеры некоторого уровня иерархии некоторым максимальным диаметром, таким образом, граф-схема любого агрегата целиком располагается в круге определённого радиуса. Отсюда следует, что необходимо ввести некоторый коэффициент, связывающий радиусы различных уровней. Обычно это степени двойки 2^{-n} . Следует иметь в виду, что начальный радиус предфракталов по определению фрактальных размерностей должен стремиться к нулю при $n \rightarrow \infty$. Для конкретных расчётов фрактальных размерностей СТС использовались материалы [6, 11].

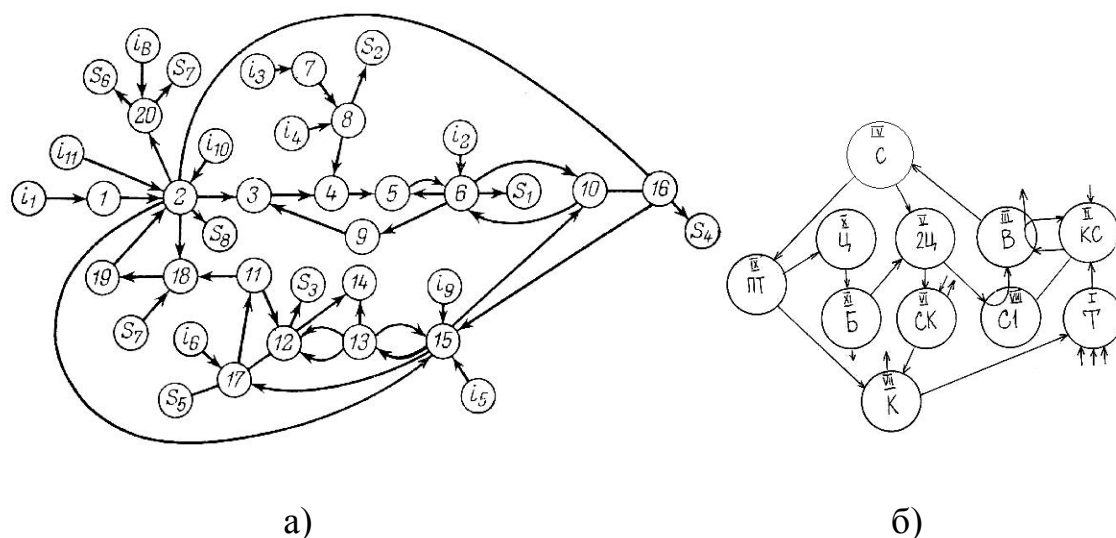


Рис. 5. Граф-схемы технологических процессов:

- а) схема производства азотной кислоты;
б) схема сушки кормовых дрожжей с рециркуляцией

Иерархическое разбиение математических моделей может происходить по степени детализации структуры и по характеру оптимизационных факторов. Ограничимся в рамках статьи первым случаем. Важным инструментом исследования, предваряющим расчёт, является размыкание замкнутых граф-схем (разрыв циклов) с последующим кортежированием. Эта процедура позволяет выявить текстурные особенности структур, способ группирования точек вокруг центров разветвления по кортежам. Интегральные характеристики структуры математических моделей, которыми

являются, в частности, фрактальные размерности, могут использоваться для оценки их оптимальности, сбалансированности. Можно использовать предложенный подход для вычисления характеристик структурограмм компьютерных программ. Глобальная оптимизация идёт с постоянными обращениями к математическим моделям более низких уровней, и сбалансированность играет здесь не последнюю роль. Также можно говорить о возможности оценки оптимальности хромосом генетических алгоритмов и нейросетей [10], чьё родство с фрактальными структурами было неоднократно отмечено в литературе, например [5].

Заключение. Топология фрактального остатка характеризуется: спектром фрактальных размерностей пыли, кортежем, параметрами протекания как-то: порогов протекания, максимальных диаметров протекания, фрактальных размерностей границ областей пропитки и т.д. Интересно проследить связь описательных характеристик структуры с фрактальной размерностью и показателями Ляпунова, отмеченную в работе [9]. Следуя исследованиям психологов, наиболее привлекательными оказались фракталы с размерностью от 1,1 до 1,5 и экспонентой Ляпунова от 0 до 0,3. Интересным экспериментальным фактом явилось то, что создаваемые в результате действия техногностических систем графические образы, помимо количественных характеристик, возбуждают в человеке категориальную и эстетическую интуицию. Таким образом, появилась возможность более эффективно использовать ресурсы человеческого сознания [3].

Библиографический список

1. Акимов, О.Е. Дискретная математика: логика, группы, графы, фракталы / О.Е. Акимов. – М. : Издатель АКИМОВА, 2005. – 656 с. : ил.
2. Божокин, С.В. Фракталы и мультифракталы / С.В. Божокин, Д.А. Паршин. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
3. Горохов, В.Л. Компьютерные метафоры для интенциональных и эйдетических объектов в когнитивных системах / В.Л. Горохов, И.А. Муравьёв // сб. докладов Междунар. конф. по мягким вычислениям SCM'2006. – Россия, 2006.
4. Гуссерль, Э. Логические исследования / Э. Гуссерль. – Минск : Харвес, 2000.
5. Дорогов, А.Ю. Нейросетевая аппроксимация регулярных фракталов / А.Ю. Дорогов // сб. докл. Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям SCM'2002. Т. 2. – СПб. : Гидрометеоздат, 2002. – С. 74–79.

6. Кафаров, В.В. Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефтеперерабатывающих производств / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, Г. Грун, В. Нойманн. – М. : Химия, 1987. – 272 с.
7. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
8. Меженин, А.В. Оценка погрешности в задачах реконструкции трехмерных моделей / А.В. Меженин, В.Т. Тозик // Труды X Всерос. науч.-методич. конф. «Телематика 2003». – СПб, 2003.
9. Митина, О.В. Использование фракталов для изучения психологии восприятия / О.В. Митина // Синергетика : труды семинара. Т. 6. Естественнонаучные, социальные и гуманитарные аспекты. – М. : МИФИ, 2003. – 200 с.
10. Потапов, А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки / А.А. Потапов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Университетская книга, 2005. – 848 с. : ил.
11. Светлаков, А.Н. Тепловой расчет сушильной установки с рециркуляцией и термическим обезвреживанием отработанных газов / А.Н. Светлаков // Интенсификация технологии и аппаратуры гидролизных производств. – Л., 1986. – 8 с.
12. Светлаков, А.Н. Моделирование разветвленных структур в задачах химико-лесного комплекса / А.Н. Светлаков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 178. – СПб. : СПбЛТА, 2006. – С. 141–161.
13. Светлаков, А.Н. Особенности вычисления характеристики фрактальной пыли / А.Н. Светлаков // «Интеллектуальные системы» (IEEE AIS'07), «Интеллектуальные САПР» (CAD-2007) : труды Междунар. науч.-технич. конф. – М. : Физматлит, 2007. – Т. 3. – С. 110–112.
14. Шредер, М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая / М. Шредер. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 528 с.
15. Popov, S.A. Algorithm of Estimation of the Geometric Parameters of the System of Two Projection Cameras by the Method of the Least Squares (MLS) / S.A. Popov, V.S. Kirichuk // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1999. – № 2. – P. 304.
16. Costa, Carlos. Morphology and fractal dimension of root systems of maize hybrids bearing the leafy trait / C. Costa, M. Dwyer Lianne, Pierre Dutilleul, Kayhan Foroutan-pour, Aiguo Liu, Chantal Hamel, Donald L. Smith. – Can. J. Bot. 81(7) : 706–713 (2003).

УДК 519.6
© Коротков А.В., 2008

МНОГОЗНАЧНЫЕ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ

В работе рассматривается способ формирования двухзначных, трёхзначных и четырёхзначных алгебр логики, использующих классы теории сравнения. Поле вычетов по модулю 2 является не булевой двухзначной алгеброй логики, существенно отличающейся от используемой алгебры логики.

Пусть m – данное натуральное число. Все целые числа по отношению к числу m естественно разбиваются [1] на m классов, если отнести к одному классу числа, дающие один и тот же остаток при делении на m . Так, если $m=2$, целые числа разбиваются на классы четных и нечетных чисел. Если $m=4$, классы в этом смысле составляют числа вида $4k$, $4k+1$, $4k+2$, $4k+3$ при целых k и т.д. Числа, относящиеся к одному классу, называются сравнимыми, и изучение свойств классов носит название теории сравнений. Переходим к определениям относящихся сюда понятий.

1. Определение и простейшие свойства. Пусть m – натуральное число. Два целых числа a и b называются сравнимыми по модулю m , если их разность $a-b$ делится на m . Высказывание « a и b сравнимы по модулю m » записывается в виде $a \equiv b \pmod{m}$.

Предложение 1. $a \equiv a \pmod{m}$; далее, если $a \equiv b \pmod{m}$, то $b \equiv a \pmod{m}$; если $a \equiv b \pmod{m}$ и $b \equiv c \pmod{m}$, то $a \equiv c \pmod{m}$.

Именно эти свойства сравнений позволяют заключить, что каждое целое число попадает в один и только один класс попарно сравнимых между собой целых чисел. Эти классы называются классами вычетов по модулю m или просто классами по модулю m .

Предложение 2. Каждое целое число сравнимо по модулю m с одним и только одним из чисел ряда $0, 1, \dots, m-1$.

Каждый класс по модулю m действительно состоит из чисел, дающих один и тот же остаток при делении на m .

Любая совокупность чисел, взятых по одному из каждого класса по модулю m , называется полной системой вычетов по модулю m . Например, числа $0, 1, \dots, m-1$ образуют полную систему вычетов.

Предложение 3. Если $a_1 \equiv a_2 \pmod{m}$ и $b_1 \equiv b_2 \pmod{m}$, то $a_1 \pm b_1 \equiv a_2 \pm b_2 \pmod{m}$.

Предложение 4. Если $a_1 \equiv a_2 \pmod{m}$ и $b_1 \equiv b_2 \pmod{m}$, то $a_1 b_1 \equiv a_2 b_2 \pmod{m}$.

В частности, если $a_1 \equiv a_2 \pmod{m}$ и c – любое целое число, то $a_1 c \equiv a_2 c \pmod{m}$.

Предложение 5. Если $ca_1 \equiv ca_2 \pmod{m}$ и число c взаимно просто с m , то $a_1 \equiv a_2 \pmod{m}$.

Таким образом, обе части сравнения можно сократить на множитель, взаимно простой с модулем. Без предположения о взаимной простоте это, вообще говоря, делать нельзя. Так, $2 \equiv 6 \pmod{4}$, но $1 \not\equiv 3 \pmod{4}$.

2. Действия над классами. Пусть $m=4$. Мы можем записать «суммы», «разности» и «произведения», руководствуясь сложением, вычитанием и умножением чисел (все равно каких), взятых из соответствующих классов.

То же самое имеет место при любом m . Для того чтобы указать класс, к которому принадлежит сумма, разность или произведение двух чисел, нам достаточно знать классы, к которым эти числа принадлежат, а как они выбраны внутри классов – на результате не сказывается. Это обстоятельство делает естественными следующие определения.

Суммой двух классов по модулю m называется класс по модулю m , к которому принадлежит сумма каких-либо чисел из слагаемых классов.

Произведением двух классов по модулю m называется класс по модулю m , к которому принадлежит произведение каких-либо чисел из перемножаемых классов.

В силу предложений 3, 4 эти определения корректны – какие бы числа из двух данных классов мы ни выбрали, их сумма и их произведение будут принадлежать вполне определенным классам, не зависящим от выбора чисел внутри данных классов.

Пример. Приведем таблицы сложения (1, 3, 5) и умножения (2, 4, 6) для классов по модулю 2, 3 и 4.

Таблица 1

$m=2$	0	1
0	0	1
1	1	0

Таблица 2

$m=2$	0	1
0	0	0
1	0	1

Таблица 3

$m=3$	0	1	2
0	0	1	2
1	1	2	0
2	2	0	1

Таблица 4

$m=3$	0	1	2
0	0	0	0
1	0	1	2
2	0	2	1

Таблица 5

$m=4$	0	1	2	3
0	0	1	2	3
1	1	2	3	0
2	2	3	0	1
3	3	0	1	2

Таблица 6

$m=4$	0	1	2	3
0	0	0	0	0
1	0	1	2	3
2	0	2	0	2
3	0	3	2	1

Символы 0, 1, 2, 3 в таблицах 1–6 обозначают классы по модулю 2, 3 и 4, которым принадлежат числа 0, 1, 2, 3. Такими обозначениями мы будем пользоваться и впредь – символ a будет обозначать класс по модулю (который предполагается заданным), содержащий число a .

Отметим некоторые очевидные свойства действий над классами по модулю.

1. $(a+b)+c = a+(b+c)$ (ассоциативность сложения).

2. $a+b = b+a$ (коммутативность сложения).

3. Класс 0 играет роль нуля при сложении: $a+0=a$ при любом a .

4. Класс $-a$ играет роль класса, противоположного классу a , именно, $a + (-a) = 0$.

5. $a(b+c) = ab + ac$.

5'. $(b+c)a = ba + ca$ (дистрибутивность).

6. $a(bc) = (ab)c$ (ассоциативность умножения).

7. $ab = ba$ (коммутативность умножения).

Свойства 3 и 4 очевидны. Свойства 2, 5, 6, 7 доказываются точно так же, как свойство 1, посредством перехода от классов к любым числам из этих классов, для которых соответствующие свойства действий имеют место.

8. Класс 1 играет роль единицы при умножении классов, именно, $a1=a$ при любом a .

3. Приведенная система вычетов и примитивные классы.

Предложение 6. Если $d = \text{н. о. д. } (a, m)$ и $a_1 = a \pmod{m}$, то $\text{н. о. д. } (a_1, m) = d$.

В частности, если одно из чисел класса по модулю m взаимно просто с m , то и все числа этого класса взаимно просты с m .

Классы, состоящие из чисел, взаимно простых с модулем, называются примитивными классами. Для любого модуля примитивные классы существуют; такими будут, в частности, классы 1 и $m-1$.

Предложение 7. Для того чтобы сравнение $ax \equiv 1 \pmod{m}$ имело решение, необходимо и достаточно, чтобы a было взаимно просто с m .

Предложение 7 можно в терминах классов сформулировать так: для того чтобы класс a имел обратный a^{-1} , т.е. такой, что $aa^{-1} = 1$, необходимо и достаточно, чтобы класс a был примитивным.

Если модуль есть простое число p , то все классы, кроме нулевого, примитивны.

Предложение 8. Сравнение $ax \equiv b \pmod{m}$, если a взаимно просто с m , имеет единственный класс решений.

Если модуль m есть простое число, то все классы, кроме нулевого, примитивны, так что в этом случае возможно деление на любой класс, кроме нулевого.

Классы по модулю m образуют коммутативное ассоциативное кольцо с единицей. Оно называется кольцом вычетов по модулю m . Если m – составное число, то это кольцо не будет областью целостности. Если же m – простое число, то кольцо вычетов по нему есть не только область целостности, но даже поле. В частности, кольцо вычетов по модулю 2, состоящее из двух элементов 0 и 1 (классы четных и нечетных чисел), является полем. Полем также является кольцо вычетов по модулю 3.

Приведем таблицы истинности для колец вычетов по модулю 2, 3 и 4 (табл. 7, 8, 9). В таблице 7 две переменные **a** и **b** с двумя состояниями образуют $4=2^2$ комбинации состояний и зависящие от них $16=2^4$ функций. В таблице 8 две переменные **a** и **b** с тремя состояниями образуют $9=3^2$ комбинаций состояний и зависящие от них $19683=3^9$ функций. В таблице 9 две переменные **a** и **b** с четырьмя состояниями образуют $16=4^2$ комбинаций состояний и зависящее от них $4\,294\,967\,296=4^{16}$ функций.

Таблица 7

a	0	0	1	1
b	0	1	0	1
0	0	0	0	0
a·b	0	0	0	1
a·$\bar{b}$	0	0	1	0
a	0	0	1	1
$\bar{a} \cdot b$	0	1	0	0
b	0	1	0	1
a+b	0	1	1	0
$\bar{\bar{a}} \cdot \bar{\bar{b}}$	0	1	1	1
$\bar{a} \cdot \bar{b}$	1	0	0	0
$\bar{a} + \bar{\bar{b}}$	1	0	0	1
$\bar{b}$	1	0	1	0
$\bar{\bar{a}} \cdot \bar{b}$	1	0	1	1
$\bar{a}$	1	1	0	0
$\bar{a} \cdot \bar{\bar{b}}$	1	1	0	1
a·b	1	1	1	0
1	1	1	1	1

Таблица 8

[illegible]

Таблица 9

[illegible]

6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	2
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3

48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1
54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	3
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	2
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3
...																
n	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Таблица истинности 7 для кольца вычетов по модулю 2 существенно отличается от таблицы истинности для Булевой алгебры логики. Она двухзначна. Трехзначная алгебра логики для кольца вычетов по модулю 3, а также четырехзначная алгебра логики для кольца вычетов по модулю 4 включают огромное число функций и по этой причине почти не используются. Вместе с тем, они вполне применимы для построения трехзначных и четырехзначных логических устройств. Приведенные выше законы выполнения операций применимы для каждой из трех систем построения логических устройств.

Библиографический список

1. Фаддеев, Д.К. Лекции по алгебре : учеб. пособие для вузов / Д.К. Фаддеев. – М. : Наука, 1984. – 416 с.

УДК 519.6

© Коротков А.В., 2008

НЕ БУЛЕВЫ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ

В работе рассматривается способ построения двухзначной не Булевой алгебры логики. Показано существенное отличие свойств этой алгебры от широко используемой Булевой алгебры логики.

1. Булевы алгебры логики. Булевой алгеброй называется [1] класс S объектов $\mathbf{a}=a_1, \mathbf{b}=b_1, \mathbf{c}=c_1, \dots$, в котором определены две бинарные операции, обозначаемые как (логические) сложение и умножение, со следующими свойствами:

операция сложения

операция умножения

для всех $\mathbf{a}=a_1, \mathbf{b}=b_1, \mathbf{c}=c_1, \dots$ из S имеют место

1) (замкнутость) S содержит

$$a_1 + b_1 = \mathbf{a} + \mathbf{b};$$

$$a_1 \cdot b_1 = \mathbf{a} \cdot \mathbf{b};$$

2) (коммутативные законы)

$$a_1 + b_1 = b_1 + a_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} + \mathbf{a}$$

$$a_1 \cdot b_1 = b_1 \cdot a_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{a};$$

3) (ассоциативные законы)

$$a_1 + (b_1 + c_1) = (a_1 + b_1) + c_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = (\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c}$$

$$a_1 \cdot (b_1 \cdot c_1) = (a_1 \cdot b_1) \cdot c_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \cdot \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c};$$

4) (дистрибутивные законы)

$$a_1 \cdot (b_1 + c_1) = a_1 \cdot b_1 + a_1 \cdot c_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) + (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c})$$

$$a_1 + (b_1 \cdot c_1) = (a_1 + b_1) \cdot (a_1 + c_1), \text{ т.е. } \mathbf{a} + (\mathbf{b} \cdot \mathbf{c}) = (\mathbf{a} + \mathbf{b}) \cdot (\mathbf{a} + \mathbf{c});$$

5) (свойства идемпотентности)

$$a_1 + a_1 = a_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} + \mathbf{a} = \mathbf{a}$$

$$a_1 \cdot a_1 = a_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot \mathbf{a} = \mathbf{a};$$

6) (свойства совместимости)

$$a_1 + b_1 = \begin{cases} a_1, & \text{если } a_1 \cdot b_1 = b_1 \\ b_1, & \text{если } a_1 \cdot b_1 = a_1 \end{cases}, \text{ т.е. } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \begin{cases} \mathbf{a}, & \text{если } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \\ \mathbf{b}, & \text{если } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{a} \end{cases}$$

$$a_1 \cdot b_1 = \begin{cases} a_1, & \text{если } a_1 + b_1 = b_1 \\ b_1, & \text{если } a_1 + b_1 = a_1 \end{cases}, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \begin{cases} \mathbf{a}, & \text{если } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} \\ \mathbf{b}, & \text{если } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{a}; \end{cases}$$

7) S содержит элементы $1=1$ и $0=0$, такие, что для всякого элемента $a=a_1$ из S

$$a_1+0=a_1, \text{ т.е. } a+0=a$$

$$a_1 \cdot 1=a_1, \text{ т.е. } a \cdot 1=a$$

$$a_1 \cdot 0=0, \text{ т.е. } a \cdot 0=0$$

$$a_1+1=1, \text{ т.е. } a+1=1;$$

8) для каждого элемента $a=a_1$ класс S содержит элемент $\bar{a}=\bar{a}_1$ (дополнение элемента $a=a_1$), такой, что

$$a_1+\bar{a}_1=1, \text{ т.е. } a+\bar{a}=1$$

$$a_1 \cdot \bar{a}_1=0, \text{ т.е. } a \cdot \bar{a}=0.$$

В каждой одномерной булевой алгебре имеют место:

9) (законы поглощения)

$$a_1 \cdot (a_1+b_1)=a_1, \text{ т.е. } a \cdot (a+b)=a,$$

$$a_1+a_1 \cdot b_1=a_1, \text{ т.е. } a+a \cdot b=a;$$

10) (двойственность, законы де Моргана)

$$\overline{a_1 + b_1} = \bar{a}_1 \cdot \bar{b}_1, \text{ т.е. } \overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b},$$

$$\overline{a_1 \cdot b_1} = \bar{a}_1 + \bar{b}_1, \text{ т.е. } \overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b};$$

$$11) \quad \overline{\bar{a}_1} = a_1, \text{ т.е. } \overline{\bar{a}} = a,$$

$$\bar{1}=0, \text{ т.е. } \bar{1}=0,$$

$$\bar{0}=1, \text{ т.е. } \bar{0}=1;$$

$$12) \quad a_1 + \bar{a}_1 \cdot b_1 = a_1 + b_1, \text{ т.е. } a + \bar{a} \cdot b = a + b,$$

$$a_1 \cdot (\bar{a}_1 + b_1) = a_1 \cdot b_1, \text{ т.е. } a \cdot (\bar{a} + b) = a \cdot b;$$

$$13) \quad a_1 \cdot b_1 + a_1 \cdot \bar{c}_1 + b_1 \cdot c_1 = a_1 \cdot c_1 + b_1 \cdot \bar{c}_1, \text{ т.е. } a \cdot b + a \cdot \bar{c} + b \cdot c = a \cdot c + b \cdot \bar{c},$$

$$(a_1+b_1) \cdot (a_1+c_1) \cdot (b_1+c_1) = (a_1+c_1) \cdot (b_1+c_1), \text{ т.е. } (a+b) \cdot (a+c) \cdot (b+c) = (a+c) \cdot (b+c).$$

Выполнение этих операций подтверждается таблицей истинности 1.

Таблица 1

a	0	0	0	0	1	1	1	1
b	0	0	1	1	0	0	1	1
c	0	1	0	1	0	1	0	1
a·b	0	0	0	0	0	0	1	1
b·c	0	0	0	1	0	0	0	1
c·a	0	0	0	0	0	1	0	1
a+b	0	0	1	1	1	1	1	1
b+c	0	1	1	1	0	1	1	1
c+a	0	1	0	1	1	1	1	1
a·(b·c)	0	0	0	0	0	0	0	1
(a·b)·c	0	0	0	0	0	0	0	1

$a+(b+c)$	0	1	1	1	1	1	1	1
$(a+b)+c$	0	1	1	1	1	1	1	1
$a+b \cdot c$	0	0	0	1	1	1	1	1
$(a+b) \cdot (a+c)$	0	0	0	1	1	1	1	1
$a \cdot a$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a+a$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a \cdot b = a$	+	+	+	+	-	-	+	+
$a+b=b$	+	+	+	+	-	-	+	+
$a \cdot b = b$	+	+	-	-	+	+	+	+
$a+b=a$	+	+	-	-	+	+	+	+
$a \cdot 1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a+0$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a \cdot 0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$a+1$	1	1	1	1	1	1	1	1
$\bar{a}$	1	1	1	1	0	0	0	0
$\bar{b}$	1	1	0	0	1	1	0	0
$\bar{c}$	1	0	1	0	1	0	1	0
$a \cdot \bar{a}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$a + \bar{a}$	1	1	1	1	1	1	1	1
$a \cdot (a+b)$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a + a \cdot b$	0	0	0	0	1	1	1	1
$\overline{a + b}$	1	1	0	0	0	0	0	0
$\overline{a \cdot b}$	1	1	0	0	0	0	0	0
$\overline{a \cdot b}$	1	1	1	1	1	1	0	0
$\overline{a+b}$	1	1	1	1	1	1	0	0
$\overline{a \cdot b}$	0	0	1	1	0	0	0	0
$\overline{b \cdot c}$	0	0	1	0	0	0	1	0
$\overline{a+b}$	1	1	1	1	0	0	1	1
$\overline{b+c}$	1	0	1	1	1	0	1	1
$a + \bar{a} \cdot b$	0	0	1	1	1	1	1	1
$a \cdot (\bar{a} + b)$	0	0	0	0	0	0	1	1
$a \cdot b + a \cdot c + b \cdot \bar{c}$	0	0	1	0	0	1	1	1
$a \cdot c + b \cdot \bar{c}$	0	0	1	0	0	1	1	1
$(a+b) \cdot (a+c) \cdot (\bar{b} + \bar{c})$	0	0	0	1	1	0	1	1
$(a+c) \cdot (\bar{b} + \bar{c})$	0	0	0	1	1	0	1	1

2. Не Булевы алгебры логики. Примером не Булевой алгебры логики может являться класс вычетов по модулю два (класс четных и нечетных чисел), как класс S объектов $\mathbf{a}=a_1, \mathbf{b}=b_1, \mathbf{c}=c_1, \dots$, в котором определены две бинарные операции, обозначаемые как (логические) сложение и умножение, со следующими свойствами:

операция сложения

$m=2$	0	1
0	0	1
1	1	0

операция умножения

$m=2$	0	1
0	0	0
1	0	1

для всех $\mathbf{a}=a_1, \mathbf{b}=b_1, \mathbf{c}=c_1, \dots$ из S имеют место

1) (замкнутость) S содержит

$$\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1 = \mathbf{a} + \mathbf{b};$$

$$\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1 = \mathbf{a} \cdot \mathbf{b};$$

2) (коммутативные законы)

$$\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1 = \mathbf{b}_1 + \mathbf{a}_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} + \mathbf{a}$$

$$\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1 = \mathbf{b}_1 \cdot \mathbf{a}_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \cdot \mathbf{a};$$

3) (ассоциативные законы)

$$\mathbf{a}_1 + (\mathbf{b}_1 + \mathbf{c}_1) = (\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1) + \mathbf{c}_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = (\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c}$$

$$\mathbf{a}_1 \cdot (\mathbf{b}_1 \cdot \mathbf{c}_1) = (\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1) \cdot \mathbf{c}_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \cdot \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) \cdot \mathbf{c};$$

4) (дистрибутивные законы)

$$\mathbf{a}_1 \cdot (\mathbf{b}_1 + \mathbf{c}_1) = \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1 + \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{c}_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} + \mathbf{c}) = (\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}) + (\mathbf{a} \cdot \mathbf{c})$$

$$\mathbf{a}_1 + (\mathbf{b}_1 \cdot \mathbf{c}_1) \neq (\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1) \cdot (\mathbf{a}_1 + \mathbf{c}_1), \text{ т.е. } \mathbf{a} + (\mathbf{b} \cdot \mathbf{c}) \neq (\mathbf{a} + \mathbf{b}) \cdot (\mathbf{a} + \mathbf{c});$$

5) (свойства идемпотентности)

$$\mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_1 = 0, \text{ т.е. } \mathbf{a} + \mathbf{a} = 0, \text{ т.е. } \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_1 \neq \mathbf{a}_1 \text{ или } \mathbf{a} + \mathbf{a} \neq \mathbf{a} \quad \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{a}_1 = \mathbf{a}_1, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot \mathbf{a} = \mathbf{a};$$

6) (свойства совместимости)

$$\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1 = \begin{cases} \mathbf{a}_1, & \text{если } \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1 = \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{b}_1, & \text{если } \mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1 = \mathbf{b}_1 \end{cases}, \text{ т.е. } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \begin{cases} \mathbf{a}, & \text{если } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{a} \\ \mathbf{b}, & \text{если } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{b} \end{cases}$$

$$\mathbf{a}_1 \cdot \mathbf{b}_1 = \begin{cases} \mathbf{a}_1, & \text{если } \mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1 = \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{b}_1, & \text{если } \mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1 = \mathbf{b}_1 \end{cases}, \text{ т.е. } \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \begin{cases} \mathbf{a}, & \text{если } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{a} \\ \mathbf{b}, & \text{если } \mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b}; \end{cases}$$

- 7) S содержит элементы $1=1$ и $0=0$, такие, что для всякого элемента $a=a_1$ из S

$$a_1+0=a_1, \text{ т.е. } a+0=a$$

$$a_1 \cdot 1=a_1, \text{ т.е. } a \cdot 1=a$$

$$a_1 \cdot 0=0, \text{ т.е. } a \cdot 0=0$$

$$a_1+1=\bar{a}_1, \text{ т.е. } a+1=\bar{a}, \text{ т.е. } a_1+1 \neq 1 \text{ или } a+1 \neq 1;$$

- 8) для каждого элемента $a=a_1$ класс S содержит элемент $\bar{a}=\bar{a}_1$ (дополнение элемента $a=a_1$), такой, что

$$a_1+\bar{a}_1=1, \text{ т.е. } a+\bar{a}=1$$

$$a_1 \cdot \bar{a}_1=0, \text{ т.е. } a \cdot \bar{a}=0.$$

В каждой не Булевой алгебре логики имеют место:

- 9) (законы поглощения)

$$a_1 \cdot (a_1+b_1)=a_1 \cdot \bar{b}_1, \text{ т.е. } a \cdot (a+b)=a \cdot \bar{b},$$

$$a_1+a_1 \cdot b_1=a_1 \cdot \bar{b}_1, \text{ т.е. } a+a \cdot b=a \cdot \bar{b};$$

- 10) (двойственность, законы де Моргана)

$$\overline{a_1 + b_1} = \bar{a}_1 \cdot \bar{b}_1 + a_1 \cdot b_1, \text{ т.е. } \overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b} + a \cdot b,$$

$$\overline{a_1 \cdot b_1} = \bar{a}_1 + a_1 \cdot \bar{b}_1, \text{ т.е. } \overline{a \cdot b} = \bar{a} + a \cdot \bar{b};$$

- 11)

$$\overline{\bar{a}_1}=a_1, \text{ т.е. } \bar{\bar{a}}=a,$$

$$\bar{1}=0, \text{ т.е. } \bar{0}=1,$$

$$\bar{0}=1, \text{ т.е. } \bar{1}=0;$$

- 12)

$$a_1 \cdot \bar{b}_1 + \bar{a}_1 \cdot b_1 = a_1 + b_1, \text{ т.е. } a \cdot \bar{b} + \bar{a} \cdot b = a + b,$$

$$a_1 \cdot (a_1 + b_1) = a_1 \cdot b_1, \text{ т.е. } a \cdot (a + b) = a \cdot b;$$

- 13) $a_1 \cdot b_1 + a_1 \cdot c_1 + b_1 \cdot c_1 \neq a_1 \cdot c_1 + b_1 \cdot c_1$, т.е. $a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c \neq a \cdot c + b \cdot c$,

$$(a_1+b_1) \cdot (a_1+c_1) \cdot (b_1+c_1) = (a_1+c_1) \cdot (b_1+c_1), \text{ т.е.}$$

$$(a+b) \cdot (a+c) \cdot (b+c) = (a+c) \cdot (b+c).$$

Выполнение этих операций подтверждается таблицей 2 истинности.

Таблица 2

a	0	0	0	0	1	1	1	1
b	0	0	1	1	0	0	1	1
c	0	1	0	1	0	1	0	1
a·b	0	0	0	0	0	0	1	1
b·c	0	0	0	1	0	0	0	1
c·a	0	0	0	0	0	1	0	1
a+b	0	0	1	1	1	1	0	0
b+c	0	1	1	0	0	1	1	0
c+a	0	1	0	1	1	0	1	0
a·(b·c)	0	0	0	0	0	0	0	1
(a·b)·c	0	0	0	0	0	0	0	1
a+(b+c)	0	1	1	0	1	0	0	1
(a+b)+c	0	1	1	0	1	0	0	1

$a+b \cdot c$	0	0	0	1	1	1	1	0
$(a+b) \cdot (a+c)$	0	0	0	1	1	0	0	0
$a \cdot a$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a+a$	0	0	0	0	0	0	0	0
$a \cdot b = a$	+	+	+	+	-	-	+	+
$a + b = b$	+	+	-	-	+	+	+	+
$a \cdot b = b$	+	+	-	-	+	+	-	-
$a + b = a$	+	+	+	+	-	-	-	-
$a \cdot 1$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a+0$	0	0	0	0	1	1	1	1
$a \cdot 0$	0	0	0	0	0	0	0	0
$a+1$	1	1	1	1	0	0	0	0
$\overline{a}$	1	1	1	1	0	0	0	0
$\overline{b}$	1	1	0	0	1	1	0	0
$\overline{c}$	1	0	1	0	1	0	1	0
$a \cdot \overline{a}$	0	0	0	0	0	0	0	0
$a + \overline{a}$	1	1	1	1	1	1	1	1
$a \cdot (a+b)$	0	0	0	0	1	1	0	0
$a + a \cdot b$	0	0	0	0	1	1	0	0
$\overline{a} + \overline{b}$	1	1	0	0	0	0	1	1
$\overline{a \cdot b}$	1	1	0	0	0	0	0	0
$\overline{a} \cdot \overline{b}$	1	1	1	1	1	1	0	0
$\overline{a+b}$	0	0	1	1	1	1	0	0
$\overline{a \cdot b}$	0	0	1	1	0	0	0	0
$\overline{b \cdot c}$	0	0	1	0	0	0	1	0
$\overline{a+b}$	1	1	0	0	0	0	1	1
$\overline{b+c}$	1	0	0	1	1	0	0	1
$a + a \cdot b$	0	0	1	1	1	1	1	1
$a \cdot (\overline{a+b})$	0	0	0	0	0	0	1	1
$a \cdot b + a \cdot c + b \cdot \overline{c}$	0	0	1	0	0	1	0	0
$a \cdot c + b \cdot \overline{c}$	0	0	1	0	0	1	1	1
$(a+b) \cdot (a+c) \cdot (b+\overline{c})$	0	0	0	1	1	0	0	0
$(a+c) \cdot (b+\overline{c})$	0	0	0	1	1	0	0	0

Таким образом, Булевы алгебры логики не являются единственным способом построения алгебр логики и логических устройств.

Библиографический список

1. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1977. – 832 с.

РАЗДЕЛ 2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.891

© Мешков В.Е., 2008

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР КОНФИГУРАЦИИ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

В работе рассматривается подход к формированию конфигурации центрального блока персонального компьютера на основе теории нечетких множеств. Показано, что введение интегральной оценочной функции позволяет учесть пожелания заказчиков и свести задачу оптимального выбора конфигурации персонального компьютера (ПК) к задаче сортировки.

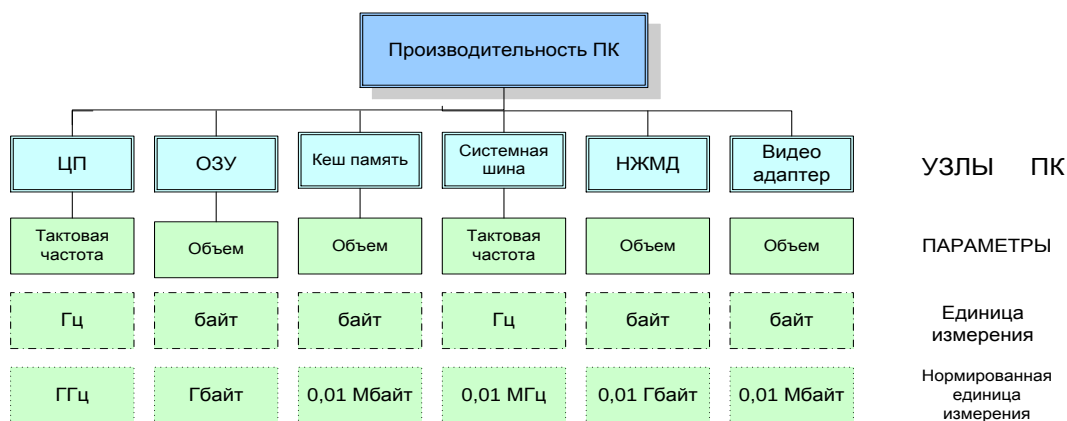
Проведем анализ параметров ПК, влияющих на производительность.

При выборе ПК с учетом потребностей клиента необходимо, прежде всего, проанализировать следующие связанные между собой вопросы [1]:

- отношение «производительность/стоимость»;
- надежность и отказоустойчивость системы;
- масштабируемость системы;
- совместимость программного обеспечения.

Для сравнения различных компьютеров между собой обычно используются стандартные методики измерения производительности. Эти методики позволяют разработчикам и пользователям задействовать полученные в результате испытаний количественные показатели для оценки тех или иных технических решений, и, в конце концов, именно производительность и стоимость дают пользователю рациональную основу для решения вопроса, какой компьютер выбрать.

Выделим блоки персонального компьютера, влияющие на производительность ПК, как это представлено на рисунке.



Блоки ПК, влияющие на производительность

В качестве основных блоков ПЭВМ и их параметров, влияющих на общую производительность персонального компьютера, выбраны [1]:

- центральный процессор (тактовая частота),
- оперативная память (объем),
- кеш-память (объем),
- накопитель на жестком магнитном диске (объем),
- системная шина (тактовая частота),
- видеоадаптер (объем видеопамати).

Именно эти параметры и будут в дальнейшем учитываться при анализе общей производительности ПЭВМ.

С учетом пожеланий пользователей и на основании экспертных оценок все множество персональных компьютеров представляется возможным разбить на три группы:

- офисные ПК (офисные приложения, работа с базами данных в качестве клиентской части, доступ в Интернет);
- игровые ПК (запуск компьютерных игр);
- специализированные ПК (задачи счета, оцифровка изображения и звука, инженерные и научные расчеты).

Далее рассмотрим основные методы построения целевых функций. Многокритериальную задачу выбора оптимальной комплектации центрального процессорного блока ПЭВМ необходимо свести к однокритериальной задаче оптимизации.

Для решения подобной задачи общепринятыми являются два следующих подхода:

- выбор одного решающего критерия оптимальности и задание остальных параметров в качестве ограничений к задаче;
- формирование обобщенного функционала от всех значимых параметров.

В нашем случае наиболее подходящим выглядит второй подход, так как он позволяет использовать значения параметров узлов из прайс-листов фирмы. Целевую функцию оптимизации необходимо построить для каждой группы ПК, с учетом различных коэффициентов влияния.

Целевая функция для группы ПК, с учетом многокритериальности задачи выбора оптимальной комплектации центрального блока ПЭВМ, может быть построена двумя способами [2]:

- как мультипликативная функция от параметров основных блоков: $F = \prod k_i \cdot X_i$, где k_i – коэффициент влияния i -го параметра; X_i – нормированное значение i -го параметра;
- как аддитивная (суммарная) функция от тех же параметров: $F = \sum k_i \cdot X_i$, где k_i – коэффициент влияния i -го параметра; X_i – нормированное значение i -го параметра.

В данной работе остановимся на аддитивной функции.

Обобщенная целевая функция строится как отношение производительности ПК к цене центрального блока: $F^* = F / S$, где F – значение целевой функции, а S – стоимость центрального блока.

Таким образом, мы выбираем методику построения критерия оптимальности как аддитивной функции, а обобщенного критерия – как соотношение «производительность/цена».

Отметим, что параметры функциональных узлов ПК необходимо нормировать, чтобы усреднить их влияние на критерии оптимизации.

С учетом выбора критерия многокритериальной оптимизации, а также принимая во внимание специфику предметной области задачи, можно сделать следующие выводы:

- в качестве целевой функции при решении задачи оптимального выбора комплектации ПК целесообразно остановиться на аддитивной целевой функции;
- задача оптимальной комплектации может быть сведена в данном случае к задаче оптимального выбора ПК из множества ПК, представленных в прайс-листе компаний.

Для формирования векторной модели [3, 4] ПК были выделены основные узлы ПК, влияющие на общую производительность ПЭВМ, их параметры и проведена нормализация параметров узлов ПК для усреднения их влияния на обобщенный критерий производительности.

Весовые коэффициенты влияния параметров узлов ПК на общую производительность получены на основании экспертных оценок.

Экспертные оценки влияния параметров узлов ПК (по категориям) представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1

Игровые ПК

Узел Эксперт	МП	ОЗУ	Кеш	НЖМД	Шина	Видеопамять
1	4	2	3	6	5	1
2	3	1	4	5	6	2
3	1	2	4	6	5	3
Среднее	3	1	4	6	5	2
Коэффициент Влияния k_i	0,2	0,3	0,15	0,05	0,1	0,25

Таблица 2

Офисные ПК

Узел Эксперт	МП	ОЗУ	Кеш	НЖМД	Шина	Видеопамять
1	3	2	4	1	5	6
2	2	2	4	1	5	6
3	3	1	4	2	5	6
Среднее	3	2	4	1	5	6
Коэффициент влияния k_i	0,2	0,25	0,15	0,3	0,1	0,05

Таблица 3

Специализированные ПК

Узел Эксперт	МП	ОЗУ	Кеш	НЖМД	Шина	Видеопамять
1	1	2	3	6	4	5
2	1	3	2	6	4	5
3	1	2	3	6	4	5
Среднее	1	2	3	6	4	5
Коэффициент влияния k_i	0,3	0,25	0,2	0,05	0,15	0,1

На основе полученных данных сформированы аддитивные критерии оптимизации (целевые функции) для оптимального выбора конфигурации центрального процессорного блока ПК по каждой из групп ПЭВМ.

Кроме того, сформирован обобщенный критерий выбора оптимальной комплектации ПК на основе целевого понятия «отношение производительности ПК к цене процессорного блока».

В заключение отметим следующее. Так как речь идет не о синтезе комплектации ПК, а о выборе из списка имеющихся комплектов, то задача оптимизации может быть сведена к последовательной декомпозиции задач:

- вычисление значения обобщенного показателя производительности для каждого ПК;
- сортировка по убыванию списка ПК по значению вычисленного значения обобщенного критерия «производительность-цена».

Библиографический список

1. Рудометов, Е. Архитектура ПК, комплектующие, мультимедиа / Е. Рудометов, В. Рудометов. – СПб. : Питер, 2000.
2. Искусственный интеллект : справочник. В 3 кн. / под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Радио и связь, 1990.
3. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2001.
4. Попов, Э.В. Статические и динамические экспертные системы / Э.В. Попов. – М. : Финансы и статистика, 1996.

УДК 004.896+004.424.4

© Берёза А.Н., Стороженко А.С., Бегляров В.В., 2008

**ПРИМЕНЕНИЕ МУРАВЬИНЫХ АЛГОРИТМОВ
ДЛЯ АНАЛИЗА РАЗВИТИЯ ПОПУЛЯЦИЙ
В МНОГОПОПУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМАХ**

В работе рассмотрены бионические методы, применяемые для решения задач оптимизации. Проведен анализ основных достоинств и недостатков генетических и многопопуляционных генетических алгоритмов. Предложен механизм адаптивного распознавания развития и ранжирования популяций, основанный на эффективности

их развития. Механизм построен на основе муравьиного алгоритма и перераспределяет машинное время между худшими и лучшими популяциями. За счет этого сокращается общее время поиска. Приведены основные параметры предложенного адаптивного механизма распознавания и ранжирования популяций, влияющие на эффективность работы этого механизма.

Введение. В настоящее время для решения задач оптимизации все шире применяют интеллектуальные методы. Это позволяет решать плохо формализуемые задачи или задачи, в которых наблюдается быстрый рост пространства решений в зависимости от количества элементов вектора входных параметров. В общем случае большинство *целевых функций* (ЦФ) таких задач являются многоэкстремальными.

Одним из интеллектуальных подходов для решения таких задач является бионический. К бионическим методам относят генетические алгоритмы, генетическое программирование, нейросетевые алгоритмы, муравьиные алгоритмы и т.д. [1, 2, 6, 8, 9].

Бионические методы при решении задач в различных областях науки и техники применяли такие ученые, как Д. Батищев, И. Букатова, В. Емельянов, В. Курейчик, И. Норенков, Д. Холланд, Д. Гольдберг, Д. Коза, Л. Чамберс и др.

Для решения задач оптимизации довольно часто применяются *генетические алгоритмы* (ГА), обладающие частичной независимостью векторов решений от значений ЦФ, что позволяет использовать один и тот же алгоритм поиска для решения различных задач.

Генетические алгоритмы. ГА моделируют процесс эволюции живой природы и на основе эволюционных принципов осуществляют поиск лучших решений. В данных алгоритмах существуют гены – правила кодирования решения, хромосомы – набор генов, популяции – набор хромосом. ГА осуществляет поиск при помощи *генетических операторов* (ГО), производящих направленное либо случайно-направленное изменение значений генов в хромосомах, и процедур отбора и селекции, осуществляющих смену хромосом в популяциях. Они работают до тех пор, пока не будет выполнено заданное число итераций алгоритма или на некоторой итерации будет получено решение определенного качества, или же когда будет найден локальный оптимум, то есть возникла преждевременная сходимость и алгоритм не может найти выход из этого состояния.

Основными достоинствами ГА являются быстрая сходимость алгоритма к субоптимальному решению, частичная независимость алгоритма от ЦФ и критериев оптимальности, адаптивность поиска на основе накопленных знаний о решениях и соответствующих значениях ЦФ. Обладая неоспоримыми достоинствами, применение ГА для решения современных задач глобальной оптимизации является неэффективным. Это связано с

тем, что в общем случае ЦФ таких задач является многоэкстремальной, а применение ГА на таких ЦФ приводит к быстрой сходимости к локальному оптимуму и невозможности поиска глобального. Вследствие этого, эффективность поиска становится зависимой от начального размещения популяции, что сводит ГА почти до алгоритма случайного поиска.

Для обеспечения выхода ГА из локального оптимума используют различные эвристики [1, 5], одной из которых являются многопопуляционные ГА. Эти алгоритмы работают на уровне метаэволюции. Метаэволюция – создание множества популяций и реализация на нем эволюционного поиска. Применение такого подхода к организации поиска позволяет повысить разнообразие генетического материала в популяциях, что приводит к улучшению результата и повышает шанс выхода из локального оптимума.

Многопопуляционные ГА. *Многопопуляционные ГА* (МГА) состоят из множества популяций, развивающихся независимо друг от друга и, при наступлении определенного момента, обменивающихся между собой хромосомами. Механизм такого обмена называется механизмом миграции. При применении механизма миграции происходит иммиграция лучших решений из лучшей популяции и эмиграция этих решений в другие популяции. Иммиграция – это процесс передачи лучших хромосом из одной популяции в другую, а эмиграция – это процесс принятия популяцией хромосом из других популяций. Алгоритм МГА, представленный в мнемокоде, имеет следующий вид:

- 1° Создание популяции.
- 2° Применение ГО, отбор, селекция.
- 3° Если условие перехода выполняется или истекло время отбора, то переходим к шагу 4°, иначе переходим к шагу 5°.
- 4° Применение механизма миграции.
- 5° Если условие останова алгоритма верно, то переходим к шагу 6°, иначе переходим к шагу 2°.
- 6° Возвращаем лучший результат.

Условие наступления времени миграции можно задать фиксированным значением (количество итераций алгоритма). Существует несколько механизмов миграции [4, 9]. Приведем принцип функционирования одного из них: после выполнения условия наступления времени обмена все популяции ранжируются по значению ЦФ (в порядке возрастания). В каждой популяции заменяются $q \cdot r$ (где q – процент исключения хромосом; r – количество хромосом в популяции) наихудших хромосом лучшими хромосомами из другой популяции. Вероятность выбора той или иной хромосомы из популяции для эмиграции рассчитывается по формуле:

$$P_i = \frac{CF(H_i)}{\sum_{j=1}^{r-q \cdot r} CF(H_j)},$$

где $CF(H_i)$ – значение ЦФ, рассчитанное по вектору H_i ; q – процент исключения хромосом; r – количество хромосом в популяции.

Условие останова для многопопуляционных алгоритмов обычно выбирают следующее: сумма разностей значений ЦФ разных популяций, участвующих в обмене, за C последних популяций меньше δ . Так, если развиваются только две популяции, то условие останова может быть записано следующим образом:

$$\sum |Fit_{\max}^I - Fit_{\max}^{II}| / (C \times \max(Fit_{\max}^I, Fit_{\max}^{II})) < \delta.$$

Эффективность поиска у таких алгоритмов в значительной степени зависит от выбора условия наступления времени миграции. Это связано с тем, что если проводить миграцию слишком рано (до того как популяции сойдутся к своим оптимумам), то нельзя правильно определить лучшую популяцию, а если проводить миграцию слишком поздно, то время на развитие популяции тратится напрасно. Следует отметить, что применение механизма миграции не требует, чтобы все популяции до проведения миграции сошлись к своим оптимальным решениям.

Учитывая вышесказанное, можно предположить, что если применить какой-нибудь механизм адаптивного распознавания развития и ранжирования популяций относительно эффективности развития, то можно перераспределять время развития от худших популяций к лучшим, чем способствовать скорейшему нахождению лучших оптимальных решений и минимизировать время развития популяций. Применение такого подхода связано с рядом трудностей, основной из которых является проблема ранжирования популяций во время их развития. Это связано с тем, что на начальных этапах развития популяции нельзя однозначно определить, насколько лучше популяция развивается, а при неравномерном распределении времени развития очевидно, что некоторые популяции могут находиться на начальных этапах развития.

В данной работе для создания такого механизма ранжирования популяций во время их развития предлагается применять муравьиные алгоритмы.

Многопопуляционный муравьиный ГА. Идею муравьиных алгоритмов предложил Марко Дориго из Университета Брюсселя в 90-х гг. XX в. Эти алгоритмы основаны на моделировании поведения колонии муравьев, ищущих путь к пище и домой. Колония представляет собой систему с очень простыми правилами автоматного поведения особей. Однако, несмотря на примитивность поведения каждого отдельного муравья, поведение всей колонии оказывается достаточно разумным [3, 6].

Главная идея этого алгоритма состоит в том, что по ходу своего передвижения муравей на земле оставляет след феромона, и муравей, идущий за ним, будет выбирать дорогу, основываясь на том, где больше феромона. Также на выбор пути влияет внешняя среда: под воздействием внешней среды на каждой итерации алгоритма количество феромона уменьшается.

Эти особенности алгоритма приводят к тому, что при проведении поиска при помощи муравьиного алгоритма, он так же, как и ГА, работает с несколькими решениями, но в отличие от ГА не отбрасывает плохие решения сразу. Именно поэтому применение данного алгоритма для ранжирования популяций по уровню развития во время их работы является эффективной мерой повышения качества работы МГА.

Задачи, решаемые муравьиными алгоритмами, представляются в виде графов. Тогда указанную выше задачу можно представить в следующем виде: пусть есть полный ориентированный граф $G = (V, E)$, каждой дуге (u, v) которого сопоставлен вес $c(u, v)$, весом ребер графа между вершинами i и j является некоторое положительное число, указывающее, насколько эффективно выполняется поиск j -й популяцией.

Выбор следующей популяции основывается на одном очень простом вероятностном правиле. Если муравей еще не закончил путь, то есть количество проб выбора популяций не равно их количеству, вероятность развития j -й популяции рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{i,j}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{i,j}(t)]^\alpha}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{i,l}(t)]^\alpha \cdot \sum_{m=0}^{cp} P_m(t)}, & j \in J_{i,k}, m \neq k, \\ 0, & j \notin J_{i,k} \end{cases}$$

где α – параметр, задающий вес следа феромона; $\tau_j(t)$ – количество феромона j -й популяции; cp – количество популяций.

Правило расчета вероятности выбора следующей популяции для развития во время проведения поиска не изменяется, но выбор следующей популяции является вероятностным, так как у каждого муравья разный пройденный им путь.

Пройдя в точку j , муравей откладывает на ребра $(i, j), i \in [0, cp]$, где cp – количество популяций, некоторое количества феромона, которое должно быть связано с оптимальностью сделанного выбора. Пусть $MaxCF_i^t$ есть максимальное значение целевой функции i -й популяции, ΔCF_i^t есть изменение ЦФ i -й популяции. Тогда откладываемое количество феромона может быть задано в виде:

$$\Delta \tau_{i,j,k}(t) = \begin{cases} aCF \frac{MaxCF_i^t}{\sum_{m=0}^{cp} MaxCF_m^t} + (1-aCF) \frac{MaxCF_i^{t-1} - MaxCF_i^t}{\sum_{m=0}^{cp} \Delta MaxCF_m^t}, & (i,j) \in J_k(t) \\ 0, & (i,j) \notin T_k(t) \end{cases},$$

где $aCF \in [0,1]$ – коэффициент, учитывающий процент влияния на откладываемый след феромона значения СФ и развитие популяции. Переход из одной точки в другую сопровождается запуском ГА с индексом, соответствующим номеру точки, в которую осуществляется переход.

Воздействие внешней среды определяют, в первую очередь, испарением феромона. Пусть $p \in [0,1]$ есть коэффициент испарения, тогда уравнение испарения имеет вид:

$$\tau_{i,j}(t+1) = (1-p) \cdot \tau_{i,j}(t) + \Delta \tau_{i,j}(t),$$

где $\Delta \tau_{i,j} = \sum_{k=1}^{cp} \tau_{i,j,k}(t)$.

Закключение. Предложенная эвристика улучшения ГА на основе муравьиного алгоритма ранжирования популяций по степени развития требует подбора параметров, т.к. муравьиные алгоритмы, также как и МГА, являются вероятностными, и их эффективность в значительной степени зависит от параметров алгоритма. Основными параметрами работы предложенного алгоритма являются:

- α – параметр, задающий вес следа феромона;
- $aCF \in [0,1]$ – коэффициент, учитывающий процент влияния на откладываемый след феромона наилучшего значения ЦФ конкретной популяции и степень развития этой популяции;
- время развития популяций.

Библиографический список

1. Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning / D.E. Goldberg. – USA : Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1989.
2. Koza, John R. Genetic Programming: On the programming of computers by means of natural selection / John R. Koza // Statistics and Computing, 4(2): 87-112, 1994.
3. Dorigo, M. The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Coloni // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B. – 1996. – Vol. 26. – № 1. – P. 1–13.
4. Potts, C.I. The Development and Evaluation of an Improved Genetic Algorithm Based on Migration and Artificial selection / C.I. Potts, T.D. Giddens, S.B. Yadav // IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. – 1994. – Summary. – Vol. 24. – № 1. – P. 73–86.

5. Гладков, Л.А. Методы генетического поиска : науч. издание / Л.А. Гладков, Л.А. Зинченко, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, Е.В. Нужнов, С.Н. Сорокин ; под ред. В.М. Курейчика. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 122 с.
6. МакКоннелл, Дж. Основы современных алгоритмов / Дж. МакКоннелл. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.
7. Растрингин, Л.А. Адаптация сложных систем. Методы и приложения / Л.А. Растрингин. – Рига : Зинатне, 1981. – 375 с.
8. Редько, В.Г. Эволюционная кибернетика / В.Г. Редько. – М. : Наука, 2001. – 156 с.
9. Штовба, С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro / С.Д. Штовба // Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70–75.

УДК 004.896+004.424.4

© Стороженко А.С., 2008

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СРЕДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ «AILab»

В работе приводится анализ недостатка существующих инструментальных сред проектирования алгоритмов на основе интеллектуальных методов. Рассмотрены этапы проектирования интеллектуальных методов. Предлагается структура инструментальной среды разработки интеллектуальных методов «AILab» устраняющая отмеченные при анализе недостатки существующих систем и учитывающая специфику этапов проектирования интеллектуальных методов.

Введение. В настоящее время ведется активная разработка и применение *интеллектуальных методов* (ИМ) для решения различных прикладных задач, в том числе и в области автоматизации проектирования [1, 2, 4, 7]. Конъюнктура рынка ведет к необходимости ускорения решения поставленных задач и, как следствие этого, к уменьшению времени проектирования ИМ. Уменьшить время проектирования ИМ предполагается за счет автоматизации и интеллектуализации этого процесса.

ИМ являются скорее подходами, нежели четкими алгоритмами [4]. Поэтому при использовании этих методов для решения конкретных задач необходимо подстраивать параметры алгоритмов, созданных на основе ИМ, под конкретную задачу или в некоторых случаях переформулировать поставленную задачу. ИМ можно разделить на четыре основных направления: бионические методы, системы на основе агентов, нечеткая логика и *экспертные системы* (ЭС). Каждое из этих направлений в свою очередь

может делиться. Так, бионические методы делят: на *генетические алгоритмы* (ГА); генетическое программирование; генетические стратегии; нейронные сети; многоагентные системы, в том числе и муравьиные алгоритмы. Разделение ИМ по группам довольно условно, и встречаются случаи отнесения одного подхода к различным группам. Так, муравьиные алгоритмы могут быть отнесены к бионическим (так как они построены на основе поведения живых организмов, муравьев) и к системам на основе агентов (в этом случае муравьев рассматривают как поисковых агентов) [3, 5, 6–8].

Существующие программные средства, использующиеся для автоматизации проектирования ИМ, обладают рядом недостатков:

- жесткая привязка разработанного программного обеспечения к задаче на этапе кодирования и декодирования ее решений;
- программная реализация алгоритмов на основе ИМ производится почти с нуля;
- закрытость разработанных программ как для доработки сторонними разработчиками, так и для интеграции с другими программами;
- невозможность сохранения промежуточных данных и, следовательно, невозможность анализа этой информации;
- проектирование алгоритмов на языке программирования, не связанного с предметной областью решаемой задачи, или алгоритмов;
- большие временные накладные расходы при выполнении экспериментальных исследований, что приводит к замедлению проектирования.

Исходя из этого, представляется перспективной разработка структуры *инструментальной среды* (ИС), позволяющей устранить указанные недостатки.

Особенности разработки алгоритмов на основе ИМ. При разработке структуры ИС проектирования ИМ основным требованием к среде является упрощение процесса проектирования в целом. Вследствие этого, необходимо сформулировать этапы проектирования и их особенности.

Процесс разработки алгоритмов на основе ИМ можно условно разделить на пять этапов: анализ решаемой задачи, выбор подходов, методов и алгоритмов решения поставленной задачи, кодирование алгоритма, экспериментальное исследование и анализ полученных результатов. Процесс разработки является итерационным, то есть при проектировании происходит многократное прохождение этапов проектирования до получения необходимых результатов. При автоматизации этапов необходимо учитывать их специфику, поскольку каждому этапу присущи индивидуальные задачи и проектные процедуры.

Далее рассмотрим каждый этап проектирования:

- На первом этапе в процессе анализа решаемой задачи производится выделение основных требований к решаемой задаче: определение *целевой функции* (ЦФ), анализ ее основных критериев, исследование на возможность упрощения или сведения решаемой задачи к уже известным задачам (линейного, нелинейного, выпуклого программирования и т.д.).
- Второй этап – выбор подходов, методов или алгоритмов решения поставленной задачи – заключается в выдвижении предположения, какие алгоритмы, методы и подходы могут привести к наилучшему (максимально действенному) решению поставленной задачи.
- На третьем этапе – формализации алгоритма – проектировщик кодирует выбранные подходы, методы, алгоритмы и ЦФ.
- На четвертом этапе – проведения экспериментальных исследований – необходимо произвести апробацию созданного алгоритма для выявления его характеристик (сходимости, времени выполнения, точности получаемого решения, количества обращений к ЦФ и др.).
- Пятый этап – анализ экспериментальных исследований – заключается в преобразовании полученных характеристик в виде, удобном для разработчика (различные графики, таблицы и диаграммы), и по полученным представлениям производится сравнение и анализ алгоритма.

Первые два этапа проектирования основываются на знаниях и умениях разработчика и, в общем случае, являются эмпирическими, поэтому автоматизация их затруднительна. Оставшиеся три этапа можно автоматизировать, тем самым ускорив разработку.

На этапе формализации алгоритма необходимо оградить разработчика от особенностей программного представления выбранных подходов, методов, алгоритмов и ЦФ, при этом максимально исключая возможность появления ошибок на этапе экспериментальных исследований. При проектировании этого этапа необходимо представить кодирование алгоритмов в удобном для проектировщика виде. Так, ГА можно представить в виде набора процедур и объектов. Объектами будут являться популяции с возможностью настройки ее параметров (принципа кодирования генов в хромосоме, количество особей в популяции и т.д.), а генетические операторы будут процедурами либо функциями. Элементы нейронных сетей и нечеткой логики можно представить в виде отдельных объектов, тогда их кодирование в общем случае представляется как настройка параметров объектов и написание необходимых методов объекта. Системы на основе агентов также можно представить в виде объектов. Объектами в данном случае будут являться агенты, параметры объектов будут свойствами агента, а

действия, которые выполняет агент, представляются в виде методов. ЭС необходимо представить в виде отдельного объекта, обрабатывающего поступающие команды на языке, удобном для их описания, например, CLIPS, LISP и др.

Таким образом, необходимо в инструментальной среде автоматизации разработки алгоритмов на основе ИМ ввести составные блоки, при помощи которых и будет происходить проектирование. Составными блоками могут выступать объекты, функции или процедуры.

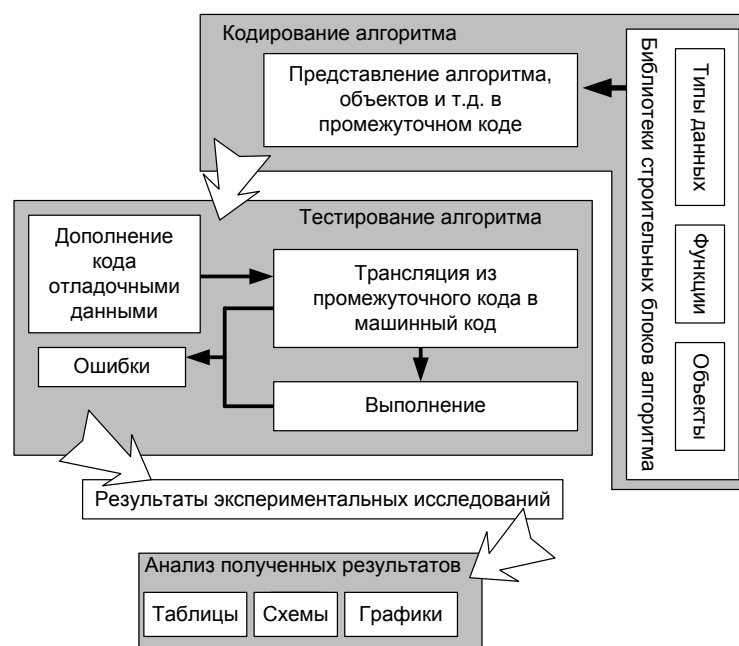
На этапе проведения экспериментальных исследований следует обеспечить максимальное быстродействие закодированных алгоритмов и ЦФ, потому что на данном этапе происходит многократное вычисление закодированных алгоритмов и ЦФ.

На этапе анализа разработчик производит модификацию (усреднение, выделение максимального или минимального значения и т.д.) и представление модифицированных данных в виде графиков, таблиц или диаграмм. На данном этапе необходимо обеспечить разработчика соответствующим инструментарием.

Учитывая специфику этапов проектирования ИМ и недостатки существующих сред проектирования ИМ, можно сформулировать основные требования, предъявляемые к инструментальной среде разработки ИМ:

- наличие встроенных библиотек строительных блоков;
- наличие промежуточных языков программирования высокого уровня, упрощающего кодирование ИМ;
- возможность создания и подключения внешних ЦФ или алгоритмов;
- защита от ошибок, связанных с программной реализацией строительных блоков и их взаимосвязи;
- наличие визуальных инструментов проектирования, упрощающих и ускоряющих процесс создания и настройки соответствующих строительных блоков;
- возможность сохранения различных данных в процессе экспериментальных исследований.

Структура ИС автоматизации проектирования ИМ «AILab». На основе анализа требований к разработке ИС предложена структура, изображенная на рисунке. Представленная структура состоит из трех основных блоков, соответствующих этапам проектирования. Такое построение позволяет сфокусировать внимание разработчика на решение конкретных задач соответствующего этапа проектирования, тем самым упрощая разработку алгоритмов в целом.



Структура ИС автоматизации проектирования ИМ

Блок кодирования алгоритмов состоит из двух основных частей:

- представление в промежуточном коде алгоритма, объектов и т.д. В данной части вводится промежуточный язык проектирования, скрывающий особенности реализации и взаимосвязей строительных блоков проектируемого алгоритма;
- библиотека составных блоков алгоритма. Эта часть представляется в виде набора библиотек и их описаний, позволяющего подключать и настраивать соответствующие строительные блоки.

Блок тестирования алгоритма производит трансляцию и выполнение закодированного алгоритма. Трансляция – это процесс представления закодированного алгоритма в соответствующих структурах для выполнения его на определенной вычислительной системе. Существует четыре основные методики генерации кода:

1. *Трансляция в машинные коды (используются в C, C++ и других).* Такой метод, по сравнению с другими, имеет наилучшую скорость выполнения, но слабая абстракция от уровня программирования затрудняет его использование. В качестве составных блоков в данных языках могут выступать структуры, классы либо объекты в зависимости от парадигмы программирования, применяемой в выбранном трансляторе.

2. *На основе решающих деревьев.* Метод немного уступает предыдущему по скорости выполнения, но, в отличие от него, позволяет уйти от особенностей программирования. Наибольшее замедление выполнения программы можно отметить при введении небольших составных блоков, в которых время выполнения блока близко ко времени, затраченному на переходы от одного узла решающего дерева к другому.

3. *Описание в промежуточных кодах (Java, .Net Framework).* Применение таких методов позволяет уйти от конкретной реализации программы на вычислительной системе, что позволяет практически полностью отойти от особенностей реализации алгоритмов. Подобные методы уступают уже описанным методам трансляции по скорости выполнения из-за накладных расходов, затрачиваемых на анализ промежуточного байт-кода. Избежать отмеченных замедлений выполнения позволяет платформа .Net Framework. При динамической генерации кода на данной платформе сначала закодированные алгоритмы транслируются в промежуточного языка (байт код CLI), а после происходит трансляция полученного байт-кода в машинные коды. Применение такого подхода замедляет процесс генерации кода, однако позволяет исключить временные затраты на трансляцию байт-кода из времени выполнения. Также следует отметить безопасность программирования.

4. *Выполнение программы непосредственно с языка высокого уровня (VBA),* то есть построчное считывание закодированного алгоритма, трансляция его в машинный код и выполнение. Данный метод в сравнении с уже описанными методами имеет самую медленную скорость выполнения, так как затраты на трансляцию с языков высокого уровня полностью накладываются на время выполнения. Положительной стороной данного метода является полная безопасность программирования.

Блок анализа осуществляет преобразование подключаемых внешних данных и результатов экспериментального исследования в виде графиков, таблиц и диаграмм. Алгоритмы преобразования и представления данных необходимо выделить в отдельные библиотеки, для улучшения расширяемости ИС.

Заключение. Блок кодирования алгоритма за счет составных блоков и введения промежуточных языков программирования представляет процесс проектирования ИМ для разработчика в дружелюбном виде. Использование при кодировании составных блоков позволяет устранять ошибки раннего и позднего связывания компонентов программы. Представление составных блоков в виде отдельных подключаемых библиотек позволяет сторонним разработчикам самостоятельно дополнять ИС необходимыми блоками.

Блок тестирования алгоритма в зависимости от выбранных методик трансляции кода позволяет варьировать скорость выполнения сгенерированных решений и безопасность проектирования, давая возможность пользователю настраивать этот блок для получения желаемых характеристик.

Блок анализа алгоритмов за счет подключения алгоритмов преобразования и представления данных как отдельных динамических библиотек позволяет легко подключать новые анализы и представления.

Предложенная структура ИС устраняет приведенные выше недостатки, упрощая и ускоряя проектирования ИМ. Блочная организация структуры ИС позволяет использовать ее как блок проектирования алгоритмов в других программных комплексах.

Библиографический список

1. Батищев, Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач / Д.И. Батищев. – Воронеж : Изд-во ВГТУ, 1995.
2. Гаврилов, А.В. Гибридные интеллектуальные системы / А.В. Гаврилов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2003.
3. Голубин, А.В. Гибридные генетические алгоритмы: истоки и перспективы / А.В. Голубин // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – № 1.
4. Емельянов, В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.М. Курейчик, В.В. Курейчик. – М. : Физматлит, 2003.
5. Курейчик, В.В. Об интегрированной инструментальной среде поддержки генетических алгоритмов / В.В. Курейчик, Е.В. Нужнов // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 5. – С. 13–19.
6. МакКоннелл, Дж. Основы современных алгоритмов / Дж. МакКоннелл. – М. : Техносфера, 2004.
7. Тарасов, В.Б. Восходящее и нисходящее проектирование многоагентных систем / В.Б. Тарасов // Труды Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 14–18 июня 1999 г. – Самара : Самарский науч. центр РАН, 1999. – С. 268–274.
8. Штовба, С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro / С.Д. Штовба // Математика в приложениях. – 2003. – № 4.

РАЗДЕЛ 3

ОПТОИНФОРМАТИКА

УДК 007:535.317

© Павлов А.В., 2008

ОПТОИНФОРМАТИКА – ОПТИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОТВЕТ НА АКТУАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ ИНФОРМАТИКИ

В настоящее время успехи информатики прочно связываются с развитием компьютерных технологий, точнее – с цифровой технологией в области software и кремниевой – в области hardware. Однако любая технология имеет свой жизненный цикл, который обычно включает этапы становления, бурного развития и, затем, исчерпания возможностей для дальнейшего роста или кризиса. В результате кризиса на смену некогда казавшейся незаменимой технологии приходит другая, занимающая значительную часть той ниши, что занимала её предшественница. Так было с технологией, основанной на использовании энергии ветра и воды – её сменила технология, основанная на использовании энергии пара, которую, в свою очередь, сменила технология, основанная на использовании электрической энергии. Так, очевидно, в свое время произойдет и с современной компьютерной технологией – кремниевая технология уже подходит к физически обусловленному пределу своих возможностей. Что придет ей на смену?

Один из возможных ответов на этот вопрос предлагает оптика. Естественный параллелизм представления и, что важно, обработки информации в оптике обещает принципиальный прорыв в вычислительной мощности систем. Оптические системы памяти уже давно стали привычным атрибутом компьютеров. Целенаправленные исследования возможностей создания цифровых оптических процессоров начались в 70-е гг. XX в. Оптический процессор должен был использовать технологию «свет управляет светом». Для этого были разработаны специальные оптические светопправляемые элементы. В результате в 1990 г. фирма Bell создала макет оптического процессора, на котором продемонстрировала выполнение логических и арифметических операций с очень высоким быстродействием. В 2003 г. компания Lenslet создала первый в мире коммерческий оптический процессор. Процессор назывался EnLight256, его производительность составляла 8 терафлоп (триллионов арифметических операций в секунду). За один такт (8 нс) процессор умножает 256-байтный вектор на матрицу 256×256. Процессор имеет интерфейс, позволяющий встраивать его в электронный компьютер.

Еще одно перспективное направление в области оптоинформатики – оптических информационных технологий – применение оптики в фундаментальной проблеме искусственного интеллекта (ИИ). Наличие ряда глубоких аналогий между свойствами голограмм и работой мозга было замечено еще на ранних этапах развития голографии [1, 2]. В числе этих аналогий в первую очередь обычно упоминаются следующие [3, 4, 5, 6, 7]:

1. Аналогия между образностью мышления как важнейшим атрибутом интеллекта, обеспечивающим реализацию творческих способностей, и обработкой изображений голографической схемой. Отметим, что принцип образности мышления может рассматриваться на двух уровнях:

- уровень «hardware» – мозг обрабатывает информацию, представленную в виде картин нейронной активности коры головного мозга – паттернов внутренней репрезентации (ПВР) [8];
- уровень «software» – известно, что наиболее эффективно человек решает задачи при представлении как условий задачи, так и решения в виде некоторых образов. Этот же прием используется и так называемыми «мнемониками» для запоминания гигантских объемов информации.

2. Аналогия между обучаемостью мозга на примерах и записью голограммы посредством эталонных изображений. Нетрудно видеть, что при записи голограммы непосредственно реализуется известное в нейрофизиологии правило обучения Хебба: «Если два нейрона одновременно возбуждены, то сила связи между ними возрастает». Аналогично в оптике – видимость интерференционной картины максимальна, если амплитуды интерферирующих волн равны.

3. Аналогия между ассоциативностью как мышления, так и отклика голограммы.

4. Аналогия между распределенностью биологической памяти – даже локальная информация хранится и считывается глобально, и информации, записанной на голограмме, и следующая из этого толерантность как мозга, так и голограммы к частичным повреждениям.

Список аналогий может быть продолжен и детализирован, в том числе применительно к тем или иным парадигмам в рамках проблемы искусственного интеллекта (ИИ). Нетрудно видеть, что большинство упомянутых аналогий относятся к функциям мозга, реализуемым правым полушарием [9] и ответственным за творческие способности индивида. Важно, что при необходимости, например при травме, правое полушарие может выполнять функции левого полушария, но не наоборот [9]. Признание актуальности этих аналогий привело к формированию и развитию в рамках ИИ голографической парадигмы (ГП) [5, 6, 7, 10, 11].

Говоря о развитии ГП, необходимо отметить, что в последнее время в околону научных изданиях и Интернете появилось множество публикаций, использующих термин «голографический» применительно к самым разным теориям – «голографический мозг», «голографическую вселенную» и т.п. Большинство из этих публикаций инспирированы, очевидно, вполне понятным восторгом от посещения выставок изобразительной голографии, но при этом демонстрируют полнейшую некомпетентность авторов в вопросах, о которых они берутся рассуждать. В этом мутном потоке тонут, к сожалению, серьезные работы. Поэтому представляется необходимым сказать несколько слов о самой ГП и рамках, в которых она правомочна.

Говоря об уровне аналогий между свойствами мозга и голограммы, Карл Прибрам, основатель ГП, подчеркивал: «...должно, однако, учитывать предостережение о том, что речь идет о математике голографии и функции мозга, по которой она должна сравниваться и проверяться, а не об оптических голограммах или компьютерной реализации голографии» [7]. Тем самым, К. Прибрам прямо обозначил позицию вынесения за скобки ГП всех популярных в последнее время в околону научных изданиях разговоров о так называемом «мозге-голограмме».

Вместе с тем, принцип физической обоснованности математических моделей предполагает, что свойства модели, в том числе информационных процессов, определяются в первую очередь свойствами материального носителя моделируемого процесса – биологического мозга или устройства ИИ. Соответственно, аналогии на уровне математики должны иметь под собой аналогии на уровне фундаментальных физических явлений и механизмов их реализации. В этой связи уместно вспомнить, что еще в 1906 г. немецкий психолог А. Гольдшайдер предложил рассматривать процессы восприятия и памяти как резонансные взаимодействия между волновыми фронтами, формирующимися при поступлении сенсорных потоков в кортикальные области мозга [7]. Тем самым, еще за полвека до появления голографии, А. Гольдшайдер фактически предвосхитил формулировки ГП, поскольку голография как метод хранения и восстановления информации основана на использовании двух фундаментальных физических явлений: интерференции как механизма формирования голограммы (памяти) и дифракции как механизма ассоциативного извлечения информации из памяти. Эти фундаментальные явления актуальны для волн различной природы и частотных диапазонов. Поэтому представляется правомочным именно аналогию на уровне фундаментальных явлений интерференции и дифракции считать базовой, а остальные аналогии между работой мозга и голограммы – следствиями.

Задача развития ГП заключается в наполнении упомянутых аналогий конкретным математическим и техническим содержанием. В статье представлены некоторые результаты, показывающие применимость схемы Фурье-голографии при решении некоторых задач искусственного интеллекта.

В настоящей подборке дан ряд статей, представляющих результаты, полученные в ГОИ им. С.И. Вавилова и СПбГУИТМО в области разработки конкретных, физически обусловленных моделей и голографических информационных технологий применительно к задаче искусственного интеллекта.

Библиографический список

1. Gabor, D. Associative Holographical Memories IBM J. of research and development / D. Gabor. – 1969. – Vol. 13. – № 2. – Pp. 156–159.
2. Денисюк, Ю.Н. Некоторые проблемы и перспективы голографии в трехмерных средах / Ю.Н. Денисюк // Оптическая голография ; под ред. Г. Колфилда. – М. : Мир, 1982. – Т. 2.
3. Прибрам, К. Языки мозга / К. Прибрам. – М. : Прогресс, 1975.
4. Арбиб, М. Метафорический мозг / М. Арбиб. – М. : Мир, 1976.
5. Кузнецов, О.П. Неклассические парадигмы в искусственном интеллекте / О.П. Кузнецов // Известия АН. Сер. Теория и системы управления, 1995. – № 5.
6. Кузнецов, О.П. Круглый стол «Парадигмы искусственного интеллекта» / О.П. Кузнецов, В.Б. Тарасов, А.Н. Аверкин, В.Н. Вагин // Новости искусственного интеллекта, 1998. – № 3.
7. Прибрам, К. Нелокальность и локализация: голографическая гипотеза о функционировании мозга в процессе восприятия и памяти / К. Прибрам // Синергетика и психология. Вып. 1. Методологические вопросы. – М. : Изд-во МГСУ «Союз», 1997.
8. Борисюк, Г.Н. Модели динамики нейронной активности при обработке информации мозгом – итоги «десятилетия» / Г.Н. Борисюк, Р.М. Борисюк, Я.Б. Казанович, Г.Р. Иваницкий // Успехи физических наук, 2002. – Т. 172. – № 10.
9. Леутин, В.П. Функциональная асимметрия мозга. Мифы и реальность / В.П. Леутин, Е.И. Николаева. – СПб. : Речь, 2005. – 368 с.
10. Судаков, К.В. Голографический принцип системной организации процессов жизнедеятельности / К.В. Судаков // Успехи физиологических наук. – 1997. – Т. 28. – № 4.
11. Кузнецов, О.П. Псевдооптические нейронные сети – полная прямолинейная модель и методы расчета ее поведения / О.П. Кузнецов, Л.Б. Шипилина // Известия АН. Сер. Теория и системы управления. – 2000. – № 5.

УДК 005:535.317

© Павлов А.В., 2008

ОБ ИНТЕГРАЦИИ ЛОГИЧЕСКОГО И ОБРАЗНОГО МЫШЛЕНИЯ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИИ ФУРЬЕ

Описан подход к интеграции образной и логической форм мышления методом Фурье-голографии, основанный на логико-алгебраическом описании схемы голографии Фурье. Показано, что схема Фурье-голографии строит алгебру Фурье-дуальных операторов, являющуюся алгеброй нечетких множеств. Приведена экспериментальная реализация правила вывода «обобщенный Modus Ponens» голографической схемой.

Введение

Моделирование и реализация «в железе» функций правого полушария мозга, ответственных за творческие способности интеллекта, остается одной из актуальных задач искусственного интеллекта (ИИ) [5, 6]. Признание актуальности ряда глубоких аналогий между свойствами биологического мозга и оптической голографии, относящихся в первую очередь к атрибутам именно правополушарных процессов, привело к формированию в когнитивных науках и ИИ голографической парадигмы (ГП) [11, 12], предлагающей подход к реализации правополушарных функций мозга. Развернутый анализ предпосылок формирования ГП дан в работах [5, 6].

ГП в значительной степени пересекается с нейросетевой (НС) парадигмой в силу того, что голография реализует основные атрибуты НС парадигмы – обучаемость вместо программирования, распределенность памяти и вычислений, толерантность к повреждениям, ассоциативность отклика. В рамках задачи реализации образного мышления актуальна прежде всего аналогия между обработкой мозгом паттернов нейронной активности коры мозга как паттернов внутренней репрезентации воспринимаемой информации и изображений голографической схемой.

Традиционно принято выделять две формы мышления – логическое (ЛМ) и образное (ОМ). Вместе с тем, реальное мышление представляет собой единый процесс, интегрирующий ЛМ и ОМ. Более того, как особо подчеркнуто в [5], логико-алгебраический формализм, применяемый для описания ЛМ, не адекватен природе реальных процессов, протекающих в левом полушарии, и соответствует скорее уровню нашего непонимания этих процессов. Значимость неразрывности двух форм мышления может быть проиллюстрирована тем, что высокий уровень ОМ характерен для двух категорий – гениев и сумасшедших, отличие в адекватном уровне ЛМ

у первых и его отсутствии (или слабом развитии) у вторых. Поэтому проблема реализации ОМ закономерно актуализирует и вопрос интеграции ЛМ и ОМ в одной модели.

В настоящей статье предложен подход к интеграции двух форм мышления – логического и образного методом Фурье-голографии.

1. Модель

1.1. Подход к задаче. Под ОМ в общем случае понимается способность мозга хранить и обрабатывать информацию в виде образов. При этом само понятие образа в данном контексте имеет несколько значений, в рамках нашего рассмотрения мы ограничимся следующими:

- образ как вектор в пространстве признаков, размерность которого определяется количеством формализуемых признаков;
- образ как картина нейронной активности коры головного мозга.

В первом случае речь идет об описании процесса мышления в терминах формальных систем, что позволяет применить логико-алгебраический формализм. Предложен ряд подходов к математической формализации понятия образа [1, 2]. В работах [3, 14, 15] для описания признаков используются распределения плотности вероятности. Близкий подход предлагает аппарат теории нечетких множеств. В первую очередь, это нечеткие логики и основанный на них метод логико-лингвистического моделирования (ЛЛМ), использующий понятие лингвистической переменной [4].

В рамках этого подхода образ описывается как нечеткий вектор в пространстве, размерность которого равна количеству формализуемых признаков. Каждый признак представляется лингвистической переменной (ЛП). Например, образ яблока может включать в себя несколько признаков – цвет, размер, вкус и т. д. Значения, которые может принимать каждая ЛП, описываются нечеткими множествами, например, нечеткими числами (НЧ), определяемыми как нормальные, унимодальные и выпуклые подмножества числовой оси. Нетрудно видеть, что в рамках данного подхода граница между ЛМ и ОМ достаточно размыта, что может быть полезно с точки зрения решения задачи интеграции ЛМ и ОМ.

2. Алгебра Фурье-дуальных операторов

2.1. Используемые определения

Определение 1. Пусть U – универсальное множество, его элементы обозначим x . Обозначим Im элементы модели, построенной на универсальном множестве U , и определим множество элементов модели (множество всех подмножеств) следующим образом:

$$\mathcal{F}(Im) = \{Im|Im : U \rightarrow [0,1]\}. \quad (1).$$

Нетрудно видеть, что (1) формально совпадает с определением нечеткого множества [4].

Определение 2. Определим алгебру как модель $\langle \mathcal{F}(Im), D, \cdot, \oplus, o, u \rangle$, где $\cdot$ и $\oplus$ – определяющие модель операции (абстрактные умножение и сложение, соответственно), D – оператор, задающий дуальность операций $\cdot$ и $\oplus$ в форме

$$\begin{aligned} \forall Im_a(x), Im_b(x) \in \mathcal{F}(Im); \\ D(Im_a(x) \oplus Im_b(x)) = D(Im_a(x)) \cdot D(Im_b(x)), \end{aligned} \quad (2)$$

где o и u – наименьший и наибольший элементы.

Определение 3. Определим коммутативную, ассоциативную и неубывающую бинарную операцию $V: [o, u]^2 \rightarrow [o, u]$ с нейтральным элементом $e(x)$, т.е.

$$\forall Im(x) \in [o, u]; V(Im(x), e(x)) = V(e(x), Im(x)) = Im(x). \quad (3)$$

Тогда, если $e(x) = u(x)$, V определим как абстрактное умножение ($V = \cdot$); если $e(x) = o(x)$, V определим как абстрактное сложение ($V = \oplus$)).

Определение 4. Определим D как унарный оператор $[o, u] \rightarrow [o, u]$, удовлетворяющий следующему набору аксиом, включая (2):

$$D(o) = u, D(u) = o \quad (4)$$

$$\forall Im_a(x), Im_b(x) \in \mathcal{F}(Im); Im_a(x) \geq Im_b(x) \Rightarrow D(Im_a(x)) \leq D(Im_b(x)). \quad (5)$$

Здесь мы предполагаем, что на $\mathcal{F}(Im)$ задано отношение порядка, но не конкретизируем его.

$$\forall Im_a(x) \in \mathcal{F}(Im); D(D(Im_a(x))) = Im_a(x). \quad (6)$$

Если $o = 0$ и $u = 1$, то D суть оператор отрицания $N: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$, а аксиома (2) суть закон де-Моргана.

Определение 5. Используем классическое определение оператора Фурье-преобразования F , связывающего функцию $Im(x)$, удовлетворяющую условиям Дирихле и абсолютно интегрируемую (x в данном контексте координата!), с ее Фурье-образом $F(\nu)$:

$$F(Im(x)) = F(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} Im(x) \exp(-j2\pi\nu x) dx, \quad (7)$$

где j – мнимая единица; ν – координата в Фурье-пространстве (частота).

Нетрудно видеть, что в силу хорошо известных свойств Фурье-преобразования (ФП) оператор F удовлетворяет аксиомам (4) в форме:

$$F(\delta(x)) = \text{Const}(\nu); F(\text{Const}(x)) = \delta(\nu),$$

где $\delta(x)$ – δ -функция Дирака, определяемая следующим образом:

$$\delta(x) = \begin{cases} \infty & \text{при } x = 0 \\ 0 & \text{при } x \neq 0 \end{cases},$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1$$

и аксиоме (5) в случае нормальных унимодальных функций (обозначим их $a(x)$ и $b(x)$)

$$\forall a(x), b(x): U \rightarrow [0,1]; \forall \alpha \in [0,1]; a_\alpha(x) \geq b_\alpha(x) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow |\operatorname{Re}(F_\alpha(a(x)))| \leq |\operatorname{Re}(F_\alpha(b(x)))|,$$

где a_α – α -срез a . Если функции не унимодальные, то последнее условие имеет силу для глобальных максимумов автокорреляционных функций

$$\forall \alpha \in [0,1]; (Im_a(x) \otimes Im_a(x))_\alpha \geq (Im_b(x) \otimes Im_b(x))_\alpha \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow |\operatorname{Re}(F_\alpha(Im_a(x)))| \leq |\operatorname{Re}(F_\alpha(Im_b(x)))|, \quad (8)$$

где символ $\otimes$ обозначает операцию корреляции.

Требование на инволютивность (6) удовлетворяется при использовании пары прямого и обратного ФП, отличающихся лишь знаком под экспонентой. При двукратном применении прямого ФП (7) имеет место инверсия координат $F(F(Im(x))) = Im(-x)$, учет которой эквивалентен выполнению условия (6).

Таким образом, в алгебре с Фурье-дуальными определяющими операциями в качестве минимального элемента $o(x)$ выступает δ -функция, а максимального, Фурье-дуального минимальному, $Const(x) = 1$ или U .

В качестве операции умножения примем обычное умножение. Тогда операция абстрактного сложения, Фурье-дуальная умножению, определяется в соответствии с (2) – получаем формулировку известной теоремы о том, что Фурье-образ свертки двух функций равен произведению их Фурье-образов, т.е. абстрактное сложение суть свертка

$$F((Im_a(x) \oplus Im_b(x))) = F(Im_a(x)) F(Im_b(x)) = F(Im_a(x) * Im_b(x)), \quad (9)$$

где символ $*$ обозначает операцию свертки двух функций

$$S(\Delta) = Im_a(x) * Im_b(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} Im_a(x) Im_b(\Delta - x) dx.$$

В силу инволютивности (6) свертка вычисляется методом двойного ФП, т.е.

$$S(Im_a(x), Im_b(x)) = F(F(Im_a(x)) \cdot F(Im_b(x))). \quad (10)$$

Здесь в целях упрощения выкладок мы пренебрегли инверсией координат, возникающей вследствие двукратного применения прямого ФП.

Алгебра с Фурье-дуальными определяющими операциями есть алгебра нечетких множеств – даже при определении исходных элементов модели как четких множеств, уже однократное применение операции абстрактного сложения ведет к преобразованию четких множеств в нечеткие

$$\forall Im_a, Im_b : U \rightarrow \{0,1\}; S(Im_a, Im_b) : U \rightarrow [0,1].$$

В алгебре Фурье-дуальных операторов операция сложения определена не поточечно, но учитывает внутреннюю коррелированность как фундаментальный атрибут информации, отличающий ее от белого шума.

Оператор Фурье-преобразования в общем случае представляет собой отображение в пространство комплексных функций. Отсюда с неизбежностью следует необходимость применения для реализации Фурье-дуальности (9) технологий, обеспечивающих регистрацию и восстановление комплексных функций. Для волн любой природы и частотного диапазона (оптических, радио и т.д.) единственной на сегодня технологией, удовлетворяющей этому требованию, является голография.

2.2. Оптическая реализация.

Поскольку интересы большинства читателей далеки от оптики, в данном разделе лишь кратко перечислим основные моменты, определяющие возможность оптической реализации алгебры $\langle \mathcal{F}(Im), F, \cdot, \oplus, o, u \rangle$. Все положения данного раздела носят достаточно универсальный характер в том смысле, что применимы для волновых полей любой физической природы и частотного диапазона; оптическая реализация лишь частный случай.

Рассмотрим плоский волновой фронт, ограниченный апертурой кадрового окна. В силу универсального свойства ограниченности, в том числе Фурье-спектра, этот волновой фронт в соответствии с теоремой Котельникова может быть представлен в виде набора пикселей – дифракционно-ограниченных элементов разрешения (11). В предположении безабберационности оптической системы положение пикселей строго фиксировано и не изменяется. Приняв обычную процедуру нормировки, ограничившись только амплитудными изображениями и обозначив плоский волновой фронт U , а пиксели x , правомочно представить любое изображение в виде $Im(x) : U \rightarrow [0,1]$, формально совпадающем с определением нечеткого подмножества.

Таким образом, плоский волновой фронт, ограниченный апертурой кадрового окна, реализует в оптике абстрактное понятие универсального множества U , пиксели суть его элементы.

Операция умножения в оптике реализуется при освещении транспаранта волновым фронтом. Операция ФП реализуется положительной линзой – в задней фокальной плоскости линзы формируется Фурье-образ распределения амплитуд волнового поля в передней фокальной плоскости. δ -функция описывает пиксел. Операции свертки (сложения) и корреляции (вычитания) реализуются методом Фурье-голографии (ФГ).

2.3. Реализация подхода методом Фурье-голографии

2.3.1. Объединение абстрактной и физически реализуемой моделей.

Определение 6. Прочитируем предложенное Л. Заде [4] определение ЛП как набора $\langle Y, Tm(Y), U, G, M \rangle$, где Y – название ЛП, $Tm(Y)$ – терм множество, U – универсальное множество, G – синтаксическое правило, порождающее термы множества $Tm(Y)$, M – семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению Y ставит в соответствие его смысл $M(Y)$, причем $M(Y)$ обозначает нечеткое подмножество множества U . В рамках настоящей статьи ограничимся рассмотрением реализации семантического правила M .

Нетрудно видеть, что адекватная схеме ФГ алгебра $\langle \mathcal{F}(Im), F, \cdot, \oplus, o, u \rangle$ суть алгебра нечеткозначимой логики, множество элементов модели $\mathcal{F}(Im) = \{Im | Im : U \rightarrow [0,1]\}$ суть решетка нечетких множеств. Соответственно, метод ЛЛМ Заде может быть реализован в этой алгебре и методом ФГ при представлении смысла входных ЛП посредством НЧ. Однако обратим внимание, что модель не запрещает представление смысла ЛП любым изображением Im и не накладывает на Im ограничений, обычно накладываемых на множества, представляющие смысл ЛП (нормальность, унимодальность и выпуклость). Таким образом, данная модель и ее голографическая реализация предлагают вариант интеграции ЛМ и ОМ при подаче на вход схемы ФГ изображений – аналогов ПВР, поскольку обработка ПВР формализована в виде алгебраической модели $\langle \mathcal{F}(Im), F, \cdot, \oplus, o, u \rangle$, но сами ПВР задаются в процедуре обучения (записи голограммы). Однако в рамках такого подхода возникает проблема интерпретации многомодальных Im , отсутствующая в классическом подходе Л. Заде – интерпретация смысла, представленного унимодальным множеством, очевидна, для многомодального множества ... получаем шизофрению.

Для решения проблемы интерпретации ограничим задачу частным случаем реализации композиционного правила вывода «Обобщенный Modus Ponens», связывающего набор входных ЛП с одной выходной ЛП (логическим заключением). Для наглядности рассмотрим классический пример вывода «Если яблоко большое и красное, то оно хорошее». В этом случае нетрудно видеть, что проблема интерпретации разделяется на две:

- интерпретация смысла входных ЛП, представленных в виде ПВР, которые обозначим Im_{in} ;
- интерпретация смысла логического заключения Im_{Out} .

Примем, что заключение, формируемое системой Im_{Out} , должно удовлетворять требованиям к НЧ. Тогда остается первая проблема, которая суть проблема объединения двух моделей – описывающей реальную схему Фурье-голографии и абстрактной, оперирующими НЧ. Обратим внимание, что при реализации метода ЛЛМ Л. Заде, т.е. при представлении смысла посредством НЧ, алгеброй Фурье-дуальных операторов существует «внут-

ренний» этап – вычисление Фурье-образов и их перемножение (10) и (14). Поэтому решение этой задачи будем искать в Фурье-пространстве: приравняем модули Фурье-образов реально обрабатываемых системой ПВР Im_{in} и абстрактных НЧ, которые обозначим FN

$$Re(F(Im_{in})) = Re(F(FN)). \quad (11)$$

Таким образом, два подхода – логико-алгебраическая формализация и НС – объединяются и согласовываются в Фурье-пространстве.

2.3.2. Выбор семантического оператора. В работах [8, 9, 10] показано, что схема Фурье-голографии реализует два семантических оператора:

$$M(A \rightarrow B) = Im_a * Im_b, \quad (12)$$

реализуемый в +1 порядке дифракции, и оператор

$$M(A \rightarrow B) = Im_a \otimes Im_b, \quad (13)$$

реализуемый в -1 порядке дифракции. Классический подход, предложенный Л. Заде, предполагает использование операции сложения НЧ, т.е. оператора (16), однако нетрудно видеть, что для многомодальных Im_{in} оператор (16) формирует также многомодальное заключение Im_{Out} , а выше мы наложили на Im_{Out} требование унимодальности. Унимодальное заключение позволяет получить оператор (17), который и будет использован в дальнейшем.

2.3.3. Выбор метода градуировки шкал (обучения). Задача обучения системы суть задача градуировки метрической шкалы устройства в соответствии с интуитивно сформированными экспертом субъективными лингвистическими шкалами (ЛШ). Традиционный подход заключается в формировании шкалы посредством предъявления нулевого и эталонного отсчетов. Данный подход не позволяет системе сформировать логические заключения, значения которых меньше значения эталона. Например, в рамках классического примера «Если яблоко красное, то оно хорошее» система должна обучаться на примере красного яблока, но в этом случае она не будет различать яблоки, менее красные, чем эталон.

Решением проблемы может быть сдвиг эталонной отметки на выходной ЛШ таким образом, чтобы на голограмме было записано значение входной ЛП, соответствующее не красному цвету яблока, а самому плохому из всех возможных (самому зеленому) яблоку.

2.3.4. Оператор дефаззификации. Значение выходной ЛП представляет собой нечеткое подмножество, а само решение должно быть четким (в примере – берем яблоко или нет). Задача формирования сигнала, пригодного для подачи на исполнительные органы, решается применением к выходному значению оператора дефаззификации DF .

Поскольку ширина НЧ однозначно связана со значением его моды, то в качестве операции DF может использоваться измерение ширины отклика системы по выбранному уровню (α -срез НЧ)

$$DF(Im_{Out}) = (Im_{in} \otimes Im_{Ref})_{\alpha}; \alpha \in [0,1]. \quad (14)$$

2.3.5. Возможности настройки логики «под пользователя». Поведение $DF(Im_{Out})$ существенно различно для разных величин α . Действительно, уширение заключения Im_{Outi} , формируемого i -м фрагментом ПВР, представляющим i -ю ЛП, с возрастанием оценки сопровождается эффектом декорреляции – уменьшением амплитуды i -го компонента в зависимости от передаточной характеристики голограммы и соотношения коэффициентов c_i , определяющих субъективную важность каждой ЛП. В результате, при заданном α , начиная с некоторого значения $Im_{Ini} \geq Im_{Ti}$, система окажется нечувствительна к дальнейшему возрастанию оценки i -го компонента Im_{Ini} . При больших α система будет более критична к наличию во входном наборе ЛП со значениями, близкими к Im_{Ri} – наличие одной ЛП с низкой оценкой для системы в этом случае «важнее», чем «высокие» значения остальных ЛП. Напротив, при малых α система «замечает» высокие значения ЛП и «терпима» к наличию низких оценок в наборе входных ЛП.

3. Экспериментальная иллюстрация

Экспериментально в схеме Фурье-голографии моделировался условный пример вывода «Обобщенный Modus Ponens», связывающий две входные ЛП «размер» и «цвет» с одной выходной ЛП «качество»:

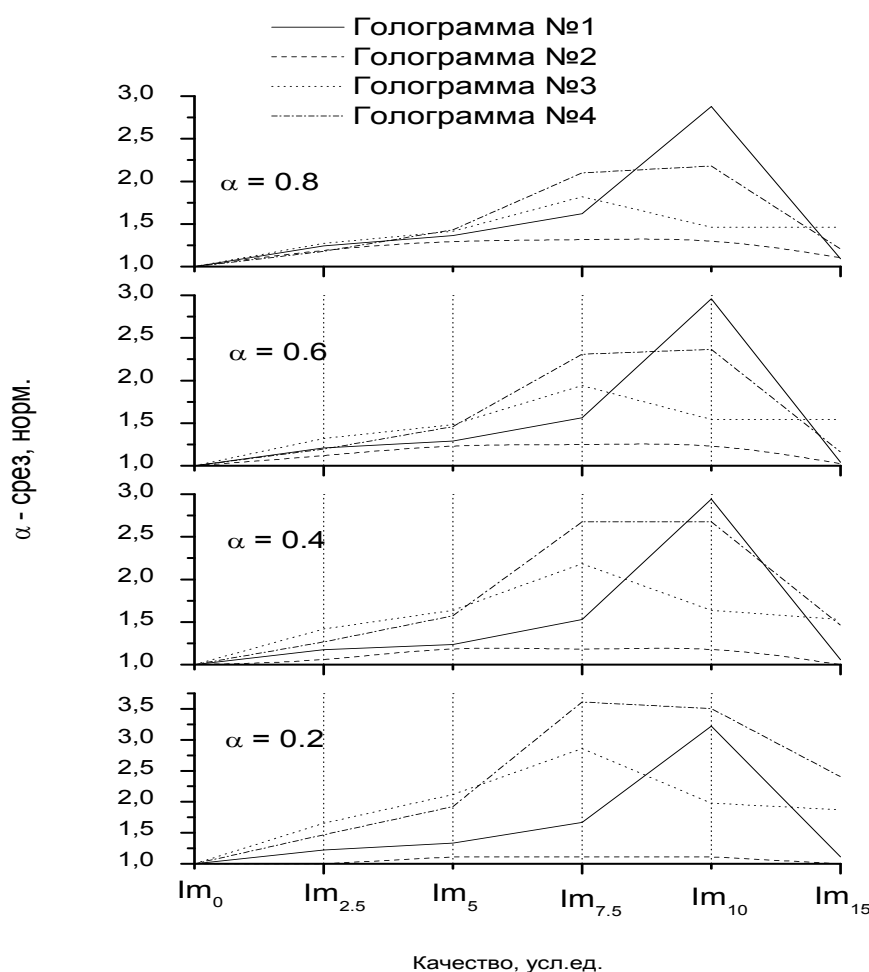
Если яблоко большое и красное, то оно хорошее.

В качестве ПВР значений входных ЛП использовалась реализация фрактального Броуновского движения размерностью 1024×1024 со значением параметра Хёрста $H=0,1$. Субъективная важность ЛП «размер» была задана $1/3$, ЛП «цвет» – $2/3$. Значение ЛП «размер» не изменялось, ЛП «цвет» принимала значения от «зеленое» до «коричневое». Паттерны Im_{In} , представлявшие эти значения, получены из эталона применением к фрагменту $Im_{\text{цвет}}$, операции размытия. В таблице приведены значения ЛП, нижние индексы при Im – индексы размытия.

Описание предъявляемых образцов

ПВР	Значение ЛП «цвет»	Величина размытия (пиксели)	Интегральная оценка качества голограммой № 2	Интегральная оценка качества голограммой № 4
Im_0	зеленое	0	плохое	плохое
$Im_{2,5}$	желтое	2,5	хорошее	плохое
Im_5	оранжевое	5	очень хорошее	плохое
$Im_{7,5}$	красное	7,5	отличное	хорошее
Im_{10}	очень красное	10	хорошее	отличное
Im_{15}	коричневое	15	плохое	плохое

Для иллюстрации зависимости поведения откликов от оператора регистрирующей среды и оператора дефаззификации был записан ряд голограмм с разными передаточными характеристиками с паттерна Im_0 , представлявшего зеленое яблоко. На рисунке приведены экспериментально полученные семейства градуировочных кривых для значений $\alpha = 0,8, 0,6, 0,4$ и $0,2$, связывающие метрическую шкалу схемы ФГ (ось Y) с ЛШ значений выходной ЛП (ось X) для голограмм №1 – №4. Величины α -срезов нормированы на значения α -среза, формируемого голограммой отклика от эталоном Im_R .



Градуировочные кривые для записанных голограмм

Из рисунка видно, что в зависимости от передаточной характеристики голограммы демонстрируют существенно различную чувствительность к изменению значений ЛП «цвет». Голограмма №2 чувствительна только в диапазоне оценок $Im_0 - Im_5$. В остальных диапазонах кривые практически параллельны оси X, что физически объясняется отсутствием в передаточной характеристике низких частот, обеспечивающих уширение отклика – имеет место только декорреляция. Голограммы №№ 1, 3, 4 демонстрируют

возрастание чувствительности с увеличением оценки, при этом диапазон чувствительности расширяется в область малых индексов размытия при уменьшении величины α . Это обусловлено тем, что в силу эффекта декорреляции, отклики от размытых фрагментов дают вклад в уширение интегрального отклика в основном у его основания (малые величины α). При смещении значения ЛП «цвет» от зеленого к коричневому в формировании интегральной оценки конкурируют два эффекта – уширение отклика от $Im_{\text{цвет}}$ и декорреляция. По мере увеличения оценки возрастает роль декорреляции, уменьшающей удельный вес фрагментов, дающих вклад в уширение, и для индексов более 10, соответствующего значению ЛП «коричневое» (диапазон $Im_{10} - Im_{15}$) интегральные отклики снова сужаются. Результатом является немонотонность градуировочных кривых, адекватная реальным схемам рассуждений. Действительно, по мере изменения цвета от зеленого к красному оценка возрастает – яблоко воспринимается как все более спелое, но коричневое воспринимается уже как гнилое – оценка резко снижается.

Если для голограммы № 2 максимум чувствительности приходится на диапазон ($Im_0 - Im_5$), то для голограмм №№ 3 и 4 он смещается в область больших индексов размытия. Тем самым реализуется принцип субъективности мышления – кто-то любит красные яблоки, а кто-то зеленые. Голограмма № 4 демонстрирует перенастройку логики без переобучения – в зависимости от значения параметра α максимум чувствительности смещается от $Im_{7,5}$ при $\alpha=0,2$ к Im_{10} при $\alpha=0,8$, при $\alpha=0,4$ система одинаково высоко ценит как желтые, так и красные яблоки.

Заключение

Таким образом, алгебра Фурье-дуальных операторов и реализующий ее метод Фурье-голографии позволяет объединить в одной модели два понятия образа – биологически мотивированное как картины нейронной активности коры мозга, т.е. паттерна внутренней репрезентации, и формальное как вектора в абстрактном пространстве признаков. Для формального описания образа использован аппарат логико-лингвистического моделирования и понятие лингвистической переменной Л. Заде. Предложено «место встречи» этих двух понятий – Фурье-пространство. Тем самым предложенный подход позволяет интегрировать в оговоренных рамках принципы образного и логического мышления.

Параметризуемость реализуемой логики операторами голографической регистрирующей среды и дефаззификации обеспечивает реализацию принципа субъективности мышления и позволяет настраивать логику «под задачу» или «под пользователя». Немонотонность градуировочных кривых является результатом взаимодействия – конкуренции двух эффектов – уширения отклика при увеличении индекса размытия, и его декорреляции.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность А.М. Алексееву за помощь в экспериментальной проверке.

Библиографический список

1. Быков, В.С. О моделировании образного мышления в компьютерных технологиях: образ как результат отражения / В.С.Быков, Ю.Р. Валькман, А.Ю. Рыхальский // Труды Междунар. конф. «Системы Искусст-венного Интеллекта AIS'05». – М. : Физматлит, 2005. – Т. 2.
2. Быков, В.С. О моделировании образного мышления в компьютерных технологиях: операции мышления / В.С. Быков, Ю.Р. Валькман // Труды Междунар. конф. «Системы Искусственного Интеллекта AIS'05». – М. : Физматлит, 2005. – Т.2.
3. Голицын, Г.А. Нейронные сети и экспертные системы: перспективы интеграции / Г.А. Голицын, И.Б. Фоминых // Новости искусственного интеллекта, 1996. – № 4.
4. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде // Математика. Новое в зарубежной науке. – 1976. – Вып. 3.
5. Кузнецов, О.П. Неклассические парадигмы в искусственном интеллекте / О.П. Кузнецов // Известия АН. Сер. Теория и системы управления, 1995. – № 5.
6. Кузнецов, О.П. Круглый стол «Парадигмы искусственного интеллекта» / О.П. Кузнецов, В.Б. Тарасов, А.Н. Аверкин, В.Н. Вагин // Новости искусственного интеллекта, 1998. – № 3.
7. Леутин, В.П. Функциональная асимметрия мозга. Мифы и реальность / В.П. Леутин, Е.И. Николаева. – СПб. : Речь, 2005. – 368 с.
8. Павлов, А.В. Математические модели оптических методов обработки информации / А.В. Павлов // Изв. РАН. ТиСУ. – 2000. – № 3.
9. Павлов, А.В. Об алгебраических основаниях Фурье-голографии / А.В. Павлов // Оптика и спектроскопия. – 2001. – Т. 90, вып. 3. – С. 515–520.
10. Павлов, А.В. Реализация логико-лингвистических моделей методом Фурье-голографии / А.В. Павлов // Изв. РАН. ТиСУ. – 2003. – № 2.
11. Прибрам, К. Нелокальность и локализация: голографическая гипотеза о функционировании мозга в процессе восприятия и памяти / К. Прибрам // Синергетика и психология. Вып. 1. Методологические вопросы. – М. : Изд-во МГСУ «Союз», 1997.
12. Судаков, К.В. Голографический принцип системной организации процессов жизнедеятельности / К.В. Судаков // Успехи физиологических наук. – 1997. – Т. 28. – № 4.
13. Хроника. Научный семинар «Отражение образного мышления и интуиции специалиста в системах искусственного интеллекта» // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 1. – С. 22–136.

14. Фоминых, И.Б. О технологии решения творческих задач / И.Б. Фоминых // Сб. трудов VIII национальн. конф. по искусств. интеллекту «КИИ-2002». – М. : Физматлит. – 2002. – Т. 1.
15. Фоминых, И.Б. Интеграция логических и образных методов отражения информации в системах искусственного интеллекта / И.Б. Фоминых // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 3. – С. 76–85.

УДК 007:535.317

© Алексеев А.М., Павлов А.В., 2008

РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ФУРЬЕ-ГОЛОГРАФИИ: ЛОГИКА С ИСКЛЮЧЕНИЯМИ

В развитие ранее разработанного метода реализации логико-лингвистического моделирования техникой Фурье-голографии показана возможность реализации логики с исключениями.

Введение

Наиболее адекватной особенностям человеческого мышления математической формализацией большинство исследователей сегодня признают нечеткие логики, алгебра которых есть алгебра нечетких множеств [4]. В статье А.В. Павлова, открывающей эту подборку, показано, что схема Фурье-голографии строит алгебру, в которой Фурье-дуальность определяющих операций порождает нечеткость как свойство модели. В работах [2, 3, 4] показана реализация методом Фурье-голографии идеи логико-лингвистического моделирования, основанной на концепции лингвистической переменной [4]. Логика, реализованная в этих работах, относится к классу общезначимых или монотонных логик, в которых добавление новых знаний не изменяет истинности ранее сформированного вывода.

Вместе с тем, обстановка, в которой необходимо принимать решения, в том числе системам искусственного интеллекта, характеризуется неполнотой и ненадежностью информации. Поэтому закономерен интерес к немонотонным логикам, в которых добавление новой информации может изменять истинность логического вывода [5, 6]. Немонотонные логики более адекватны реальной обстановке, в которой принимаются решения, и существенно повышают гибкость логического вывода в условиях неполноты знаний.

Частный случай немонотонных логик – логика с исключениями. В статье, в развитие ранее изложенной концепции, представлен подход к реализации логики с исключениями методом Фурье-голографии.

1. Подход к задаче и модель

1.1. Подход к задаче.

В предыдущей работе рассмотрение реализации нечетких логик проводилось на простом примере, относящемся к категории логического вывода «Обобщенный Modus Ponens» :

Если <яблоко большое и красное>, *то* <оно хорошее>

Это <яблоко очень большое и очень красное>

Следовательно, <яблоко отличное>.

Это правило связывает значения лингвистических переменных, определенных на разных лингвистических шкалах: две входные лингвистические переменные «Размер яблока» и «Цвет яблока» связаны с выходной лингвистической переменной «Качество яблока», которая может рассматриваться также как интегральная оценка. Правило логического вывода «Обобщенный Modus Ponens» может быть формализовано в общем случае в виде:

Если <P (посылка)>, *то* <C (заключение)>.

Продукционное правило логики с исключениями может быть представлено как развитие правила «Обобщенный Modus Ponens»:

Если <P (посылка)>, *то* <C (заключение)>, *если не* <E (исключение)>. (1)

Это правило можно проиллюстрировать уже приведенным примером, который и будет использован в дальнейшем изложении:

Если <яблоко большое и красное>, *то* <оно хорошее>, *если не* <перекормлено химическими удобрениями>

Нетрудно видеть, что добавление новой информации о возможности наличия нитратов существенно изменяет значение вывода. Пока этой информации не было, логика была монотонная – возрастанию значения входных переменных соответствовало возрастание значения заключения – чем яблоко краснее, тем оно лучше, чем оно больше, тем оно лучше. Но новая информация об опасности нитратов заставляет пересмотреть истинность этой логической конструкции – большое и красное яблоко вызывает подозрение о наличии в нем излишнего количества нитратов, что снижает итоговую оценку.

В зависимости от конкретных условий исключение может либо игнорироваться как неактуальное, либо актуализироваться. В первом случае правило вывода редуцируется к классическому правилу «Modus Ponens» или «Обобщенный Modus Ponens» в нечетких логиках. В этой связи представляет интерес трансформация оператора *если не* в *даже если*, актуальная в случае покупки яблок для натюрморта.

Если <P>, *то* <C>. (2)

Введем параметр, описывающий актуальность исключения $t \in [0,1]$. Тогда правило (1) переписывается в виде

$$\text{Если } \langle P \rangle, \text{ то } \langle C \rangle, \text{ если не } \langle tE \rangle. \quad (3)$$

В рамках примера при покупке яблок, для того чтобы их съесть, $t=1$, но для составления натюрморта наличие нитратов не существенно, т.е. $t=0$.

В классических логиках могут быть истинными либо заключение C , либо исключение E , третьего не дано. Нечеткие логики позволяют ввести более гибкое отношение заключения C и исключения E , адекватное реальным условиям. Эта гибкость достигается за счет использования t -норм и t -конорм для агрегирования информации, обеспечивающих большую свободу в выборе формализации оператора *если не*, особенно в случае, если заключение и исключение определены на разных предметных шкалах, как это имеет место в рассматриваемом примере. В частности, представляет интерес трансформация оператора *если не* в *даже если*, актуальная в случае покупки яблок для натюрморта.

В случае математической формализации логики, реализуемой конкретной физической схемой, в нашем случае – схемой Фурье-голографии, выбор этих операторов должен быть физически обусловлен.

1.2. Выбор семантического оператора и градуировка шкал

Как показано в предыдущей статье, обработка изображений в схеме Фурье-голографии может быть описана как реализация логического вывода «Обобщенный Modus Ponens», поскольку схема строит алгебру логики $\langle U, F, T, S, M \rangle$, где U – универсум, F – оператор Фурье-преобразования, задающий Фурье-дуальность t -норм T и t -конорм S (операторов конъюнкции и дизъюнкции) в форме

$$\forall a, b \in U; \quad S(a, b) = F(T(F(a), F(b))).$$

В оптике t -норма есть умножение, реализуемое при освещении транспаранта Im_A плоским волновым фронтом. t -конорма, Фурье-дуальная t -норме, реализуется в -1 порядке дифракции схемы Фурье-голографии

$$S(Im_A, Im_B)_F = F(F(Im_B) \cdot \eta(F(Im_A))), \quad (4)$$

где η – оператор голографической регистрирующей среды, на которой записана Фурье-голограмма операнда Im_A , Im_B – операнд, восстанавливающий голограмму. В +1 порядке дифракции реализуется вычитание 1 (абстрактное), определяемое как сложение $\oplus$ с аддитивно противоположным элементом

$$(Im_B \ 1 \ Im_A) = F(F(Im_B) \cdot \eta(F^*(Im_A))), \quad (5)$$

где астериск обозначает комплексное сопряжение. Аддитивный ноль в данной алгебре есть δ -функция, описывающая в приближении Фурье-оптики дифракционно-ограниченный точечный источник.

Оператор импликации, реализуемый в схеме Фурье-голографии, при представлении смысла изображениями Im определен следующим образом:

$$M_{+1}(B \rightarrow C) = (Im_B \ 1 \ Im_A) = F(F(Im_B) \eta(F^*(Im_A))) = (Im_B \ 0 \ Im_A). \quad (6)$$

Для перехода от монотонной логики к логике с исключениями необходимо определить возможность физической реализации оператора *если не*. Сама процедура добавления новой информации в систему проблемы не представляет – задача решается дообучением, т.е. записью мультиплексной голограммы с неизменным положением опорного пучка.

Реализация операторов импликации, отличных от (6), хотя и возможна, но ведет к чрезмерному усложнению схемы. Поэтому представляется целесообразным искать решение в рамках подхода, основанного на использовании одного оператора. Это возможно, если для исключения принять шкалу с инверсной по отношению к шкале посылки зависимостью изменения значения логического заключения от возрастания значения исключения.

Рассмотрим эту возможность подробнее. Если для шкалы посылки в предыдущей статье была принята возрастающая зависимость значения заключения от значения входной переменной (чем яблоко краснее, тем выше его оценка), то для шкалы исключения значение заключения должно убывать по мере возрастания значения входной переменной, представляющей исключение – чем больше нитратов, тем яблоко хуже. Тогда интегральная оценка как результат обработки посылки и исключения может быть представлена в виде

$$M_{+1}(B \rightarrow C) = (Im_{B\Pi} \ 1 \ Im_{A\Pi}) + (Im_{B\Pi} \ 1 \ Im_{A\Pi}),$$

где нижние индексы Π и Π обозначают значения посылки и исключения, соответственно. Поскольку в качестве процедуры дефаззификации (преобразования нечеткого значения логического заключения в «четкое», пригодное для подачи управляющего воздействия на исполнительные органы) DF выбрана процедура измерения α -среза (ширины сечения глобального максимума автокорреляционной функции по заданному уровню), то получаем нелинейную зависимость заключения от значения P и E

$$DF[M_{+1}(B \rightarrow C)] = \text{Corr}_{\alpha} [(Im_{BP} \ 1 \ Im_{AP}) + (Im_{BE} \ 1 \ Im_{AE})], \quad (7)$$

где индексы P и E обозначают значения посылки и исключения, соответственно.

Работа на шкале с инверсной зависимостью сопряжена с тем, что, во-первых, диапазон возможных значений $(Im_{BE} \ 1 \ Im_{AE})$ ограничен $[(Im_{BE} \ 1 \ Im_{AE}), \delta]$, т.е. существенно уже диапазона $[(Im_{BP} \ 1 \ Im_{AP}), U]$, и, во-вторых, работа в диапазоне значений, меньших значения отклика от эталона, использованного при записи голограммы, сопряжена с существенным падением отношения сигнал-помеха по мере смещения значения отклика от $(Im_{BE} \ 1 \ Im_{AE})$ к δ . Было проведено численное моделирование изменения значения заключения в зависимости от субъективной важности исключения для разных видов передаточной функции голограммы.

2. Численное моделирование и обсуждение

Моделировался вышеприведенный пример, связывающий значения посылки P «цвет яблока» и исключения E «опасность наличия нитратов» с интегральной оценкой «качество яблока» для различных значений параметра важности исключения t . Значения посылки и исключения приведены в таблице.

Значение переменной «цвет яблока»	Значение переменной «опасность нитратов»	Значение индекса размытия Im
зеленое	минимальная	0,1
зелено-желтое	незначительная	0,2
желтое	достаточное	0,5
оранжевое	значительная	0,7
красное	максимальная	1

На рисунке 1 приведено семейство градуировочных кривых, связывающих метрическую шкалу устройства ИИ с лингвистическими шкалами, на которых отмечены значения посылки и исключения для трех значений параметра важности исключения t , наглядно иллюстрирующее перестройку логики в зависимости от важности исключения.

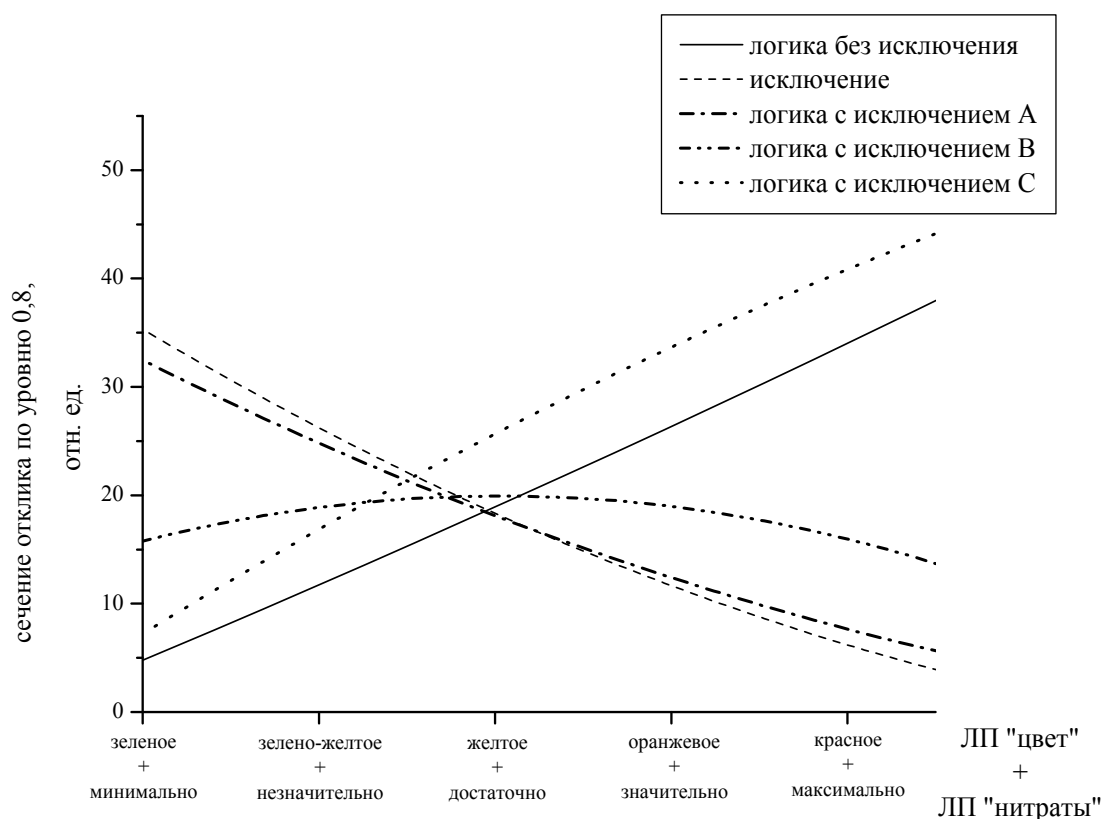


Рис. 1. Градуировочные кривые логики с исключением при различных значениях важности исключения: логика А ($t = 0,9$); логика В ($t = 0,5$); логика С ($t = 0,1$)

Приведенные результаты иллюстрируют поведение, характерное для обычной человеческой логики – знание об опасности нитратов вкупе с информацией об их отсутствии существенно повышает оценку как красных, так и зеленых яблок, ранее казавшихся непривлекательными. При информации о наличии нитратов, наоборот, ищется компромисс между разумом (знание об опасности) и эмоциями – лучшими оказываются желтые яблоки.

На рисунке 2 приведены градуировочные кривые для значения $t=0,9$, но для разных передаточных функций голограммы, иллюстрирующие в совокупности с рисунком 1 реализацию принципа субъективности мышления – при одинаковых значениях посылки и исключения разные голограммы (эксперты) формируют разные логики.

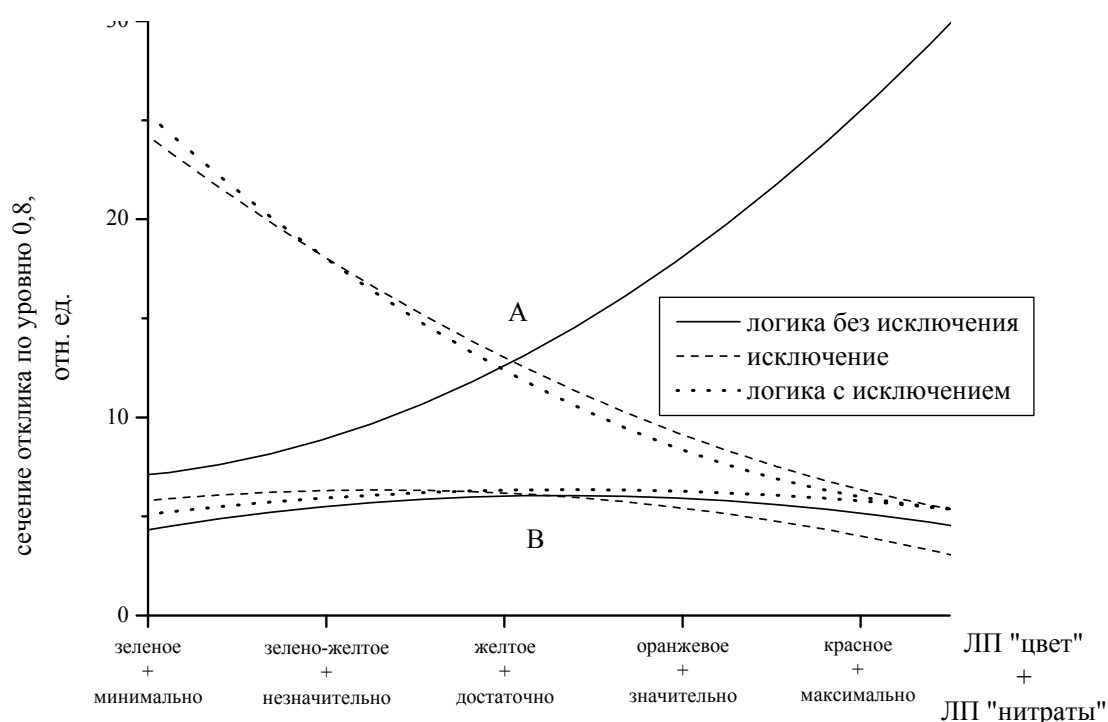


Рис. 2. Семейства градуировочных кривых при $t = 0,9$:
А – голограмма с фильтрацией низких частот; В – голограмма с фильтрацией низких и средних частот

Заключение

Таким образом, показана возможность реализации методом Фурье-голографии частного случая немонотонных логик – логики с исключениями. Свойства логики зависят от передаточной функции голограммы, которая, в свою очередь, определяется условиями ее записи, т.е. обучения системы. Описанный подход реализует принцип субъективности мышления. Введение дополнительной фильтрации в Фурье-области позволяет реализовать перенастройку логики без переобучения системы.

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность проф. О.П. Кузнецову и проф. И.Б. Фоминых за обсуждения, способствовавшие постановке данной работы.

Библиографический список

1. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде // Математика. Новое в зарубежной науке. – М., 1976. – Вып. 3.
2. Алексеев, А.М. Использование метода Фурье-голографии для моделирования принципа образности мышления / А.М. Алексеев, А.М. Константинов, А.В. Павлов // Оптический журнал. – 2006. – Т. 73, № 9. – С. 77–82.
3. Павлов, А.В. «Реализация логико-лингвистических моделей методом Фурье-голографии» / А.В. Павлов // Известия Академии Наук. Теория и системы управления. – 2003. – № 2. – С. 118–125.
4. Павлов, А.В. Нейро-нечеткая голографическая система: вывод на лингвистических шкалах : тр. Международной науч.-технич. конф. IEEE AIS'03 CAD-2003, 3–10 сентября, Дивноморское / А.В. Павлов, Я.Ю. Шевченко. – М. : Физматлит. – Т. 1. – С. 542–548.
5. Виньков, М.М. Немонотонные рассуждения в динамических интеллектуальных системах / М.М. Виньков, И.Б. Фоминых // Новости Искусственного Интеллекта. – 2005. – № 4. – С. 12–23.
6. Астанин, С.В. Модель немонотонных рассуждений на основе нечеткой логики / С.В. Астанин, Т.Г. Калашникова // Известия ТРТУ. Интеллектуальные САПР : материалы Междунар. НТК «Интеллектуальные САПР». – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2000. – № 2. – С. 81–84.

УДК 007:535.317

© Павлов А.В., 2008

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЗМОВ ПАРАДИГМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АНОХИНА МЕТОДОМ ФУРЬЕ-ГОЛОГРАФИИ

Схема Фурье-голографии с обращением волнового фронта в корреляционной плоскости рассмотрена как двуслойная двунаправленная нейронная сеть. Показана реализуемость модели линейного предсказателя и на этой основе ряда когнитивных механизмов восприятия, характерных для акцептора результата действия в функциональной системе П.К. Анохина.

В настоящее время среди специалистов по искусственному интеллекту (ИИ) получила признание новая парадигма – парадигма когнитивной системы (КС) [5]. Между тем, еще в середине XX в. отечественной школой

академика П.К. Анохина была разработана концепция «Функциональной системы» (ФС) [1, 2], которая, по мнению многих исследователей, шире и глубже проработана, нежели парадигма КС.

Один из ключевых признаков, отличающих ФС Анохина от традиционного рефлекторного подхода, – это способность к предсказанию. Действительно, организм, не способный предвидеть ближайшее будущее, предсказать результаты своих действий, спланировать свою активность для достижения цели, обречен. Интересно, что еще И.П. Павлов в одной из своих работ обращал внимание на то, что условный рефлекс имеет «предупредительный» характер, т.е. основывается на предсказании, но дальнейшего развития в его работах эта тема не получила.

Рассмотрение в совокупности процессов принятия решения, формулировки цели и предсказания позволило Анохину и его школе сформулировать концепцию функциональной системы как логической модели ИИ. Согласно концепции ФС принятию решения предшествует сложный процесс одновременной обработки различной информации, поступающей в центральную нервную систему из внешнего и внутреннего мира, названный «афферентным синтезом». «На каждом нейроне коры головного мозга одновременно обрабатываются возбуждения от трех источников: внутреннее, связанное с формированием той или иной доминирующей мотивации, внешние возбуждения и возбуждения памяти, извлеченные как мотивацией, так и данной обстановочной афферентацией» [1]. Решение принимается в результате одновременной обработки этих трех возбуждений и сопоставления с прошлым опытом. На этой стадии ищется ответ на вопрос о возможности получения в данной ситуации полезного результата.

Другой важнейший компонент ФС – акцептор результата действия, в котором производится сличение ожидаемого (предсказанного) и реального результатов. Если результаты совпадают, то цель достигнута и действие прекращается, а результаты воспринимаются как положительные, полезные в дальнейшей жизнедеятельности. Если результаты не совпадают, то происходит поиск необходимых корректировок как поведения, так и внутренней модели мира. Именно предсказание лежит в основе механизма восприятия [6]. В частности, в когнитивной психологии хорошо известен феномен «познавательного дрейфа», заключающийся в том, что при восприятии внимание акцентируется именно на новых, не предсказанных фрагментах информации.

Таким образом, с точки зрения реализации ФС «в железе» важно наличие в системе петель обработки, реализующих восприятие как процесс динамического взаимодействия входной информации и выдвигаемых гипотез [1, 2]. В голографии аналогом таких петель обработки может служить схема с обращением волнового фронта в корреляционной плоскости (рис. 1), широко используемая для реализации модели автоассоциативной памяти. В работах [7, 8] было показано, что в случае, если в схеме

(рис. 1) используется тонкая по критерию угловой инвариантности голограмма, согласованная на этапе прямого прохождения и инверсной передаточной характеристикой на этапе обратного прохождения, то эта схема реализует модель линейного предсказателя. В настоящей статье в развитие этих работ показана возможность реализации в 4f-схеме Фурье-голографии с обращением волнового фронта в корреляционной плоскости частного случая феномена «познавательного дрейфа».

1. Оптическая схема

Обсуждаемая оптическая схема приведена на рисунке 1. Во входной плоскости In эталонное изображение Im_A освещается плоским волновым фронтом U . Входная плоскость In суть передняя фокальная плоскость первой Фурье-преобразующей линзы L_1 . При записи голограммы в заднюю фокальную плоскость линзы L_1 помещается фоточувствительная среда H , регистрирующая картину интерференции Фурье-образа $F(Im_A)$ и плоского опорного пучка R . Передаточная характеристика проявленной голограммы для $+1$ порядка дифракции $\eta(F(Im_A))$, где η – оператор регистрирующей среды. При помещении в In объектного изображения Im_B , в задней фокальной плоскости C второй Фурье-преобразующей линзы L_2 формируется функция взаимной корреляции $Im_B \otimes Im_A^*$, где $\otimes$ – символ корреляции, а Im_A^* – результат фильтрации Im_A оператором η . На этом этапе схема работает как коррелятор Ван дер-Люгта.

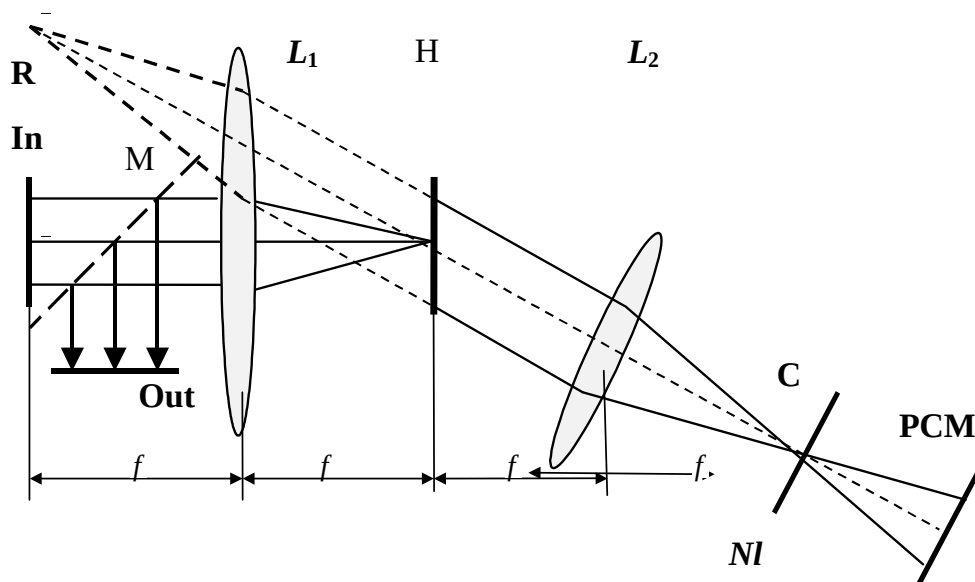


Рис. 1. Схема Фурье-голографии с обращением волнового фронта

Для обеспечения прохождения света в обратном направлении, т.е. $C \rightarrow H \rightarrow \text{Out}$, где Out – выходная плоскость, оптически сопряженная с In посредством полупрозрачного зеркала М, в плоскость С помещается фазо-

сопрягающее зеркало РСМ. Напомним, что для реализации ААП нелинейный оператор РСМ Nl подбирается таким образом, чтобы выделить из корреляционного поля только глобальный максимум автокорреляционной функции (ГМ АКФ), который в обратном ходе лучей $C \rightarrow H \rightarrow Out$ как дифракционно-ограниченный точечный источник δ , т.е. дельта-функция, восстанавливает в Out Im_A^n

$$Nl(Im_B \otimes Im_A)^{*} * Im_A^{n*} = \delta * Im_A^{n*} = Im_A^{n*},$$

где астериск – символ комплексного сопряжения, а $*$ – операции свертки.

2. Модель

2.1. Структура связей, формируемая при записи голограммы

При записи Фурье-голограммы эталонное изображение Im_A и точечный опорный источник δ помещаются в переднюю фокальную плоскость In положительной линзы L_1 , которая в своей задней фокальной плоскости формирует Фурье-образы изображения $F(Im_A)$ и точечного источника $F(\delta)$ (рис. 2а). В соответствии с принципом Гюйгенса – Френеля каждый элемент изображения im_A (пиксел), размер которого определяется в соответствии с теоремой Котельникова, может рассматриваться как независимый точечный источник, испускающий расходящуюся сферическую волну. Линза L_1 преобразует эти расходящиеся сферические волны в плоские, направление распространения которых определяется положением соответствующего точечного источника (im_A или δ) в плоскости In . В задней фокальной плоскости линзы L_1 плоские волны от каждого из элементов изображения Im_A , независимо интерферируют с плоской опорной волной $F(\delta)$, формируя интерференционную картину – решетку с синусоидальным законом изменения амплитуды. Частота этой решетки определяется расстоянием между пикселом im_A , испускающим данную волну, и точечным опорным источником δ . Ориентация полос решетки определяется положением точечных источников im_A и δ – интерференционные полосы ориентированы перпендикулярно линии, соединяющей эти источники. Таким образом, для каждой пары im_A и δ формируется своя интерференционная картина, частота и ориентация полос которой однозначно определяются взаимным положением im_A и δ .

Видность интерференционной картины (индекс модуляции решетки) определяется отношением амплитуд im_A и δ . Видность максимальна (равна 1), когда их амплитуды im_A и δ равны, и убывает до 0, когда амплитуда одного из них также убывает до 0. Нетрудно видеть, что в данном случае закон изменения видности интерференционной картины полностью соответствует правилу обучения Хебба – сила связей максимальна (индекс модуляции решетки равен 1), когда оба нейрона имеют одинаковый уровень возбуждения.

В силу линейности операции Фурье-преобразования $F(Im_A) = \sum F(im_A)$ и суперпозиция этих интерференционных картин $(F(im_A) + F(\delta))$ формирует общую картину интерференции $(F(Im_A) + F(\delta))$, которая записывается на регистрирующей среде H – зарегистрированная интерференционная картина и называется голограммой. На этапе восстановления проявленной голограммы объектным изображением (освещения восстанавливающим пучком) она работает как дифракционный элемент, состоящий из элементарных дифракционных решеток $(F(im_A) + F(\delta))$ с синусоидальным (при линейной записи голограммы) профилем штриха. Как было показано выше, параметры каждой элементарной дифракционной решетки однозначно определяются взаимным положением и отношением амплитуд точечных источников im_A и δ .

Таким образом, при записи Фурье-голограммы изображения Im_A с точечным опорным источником δ формируется структура связей, полностью соответствующая модели простейшей нейронной сети (НС) «звезда Гроссберга» (Рис. 2а) – каждый элемент разрешения im_A , который может рассматриваться как сенсорный нейрон слоя изображения In , связывается с единственным нейроном – точечным опорным источником δ , вес связей (индекс модуляции элементарной дифракционной решетки) формируется в полном соответствии с правилом обучения Хебба.

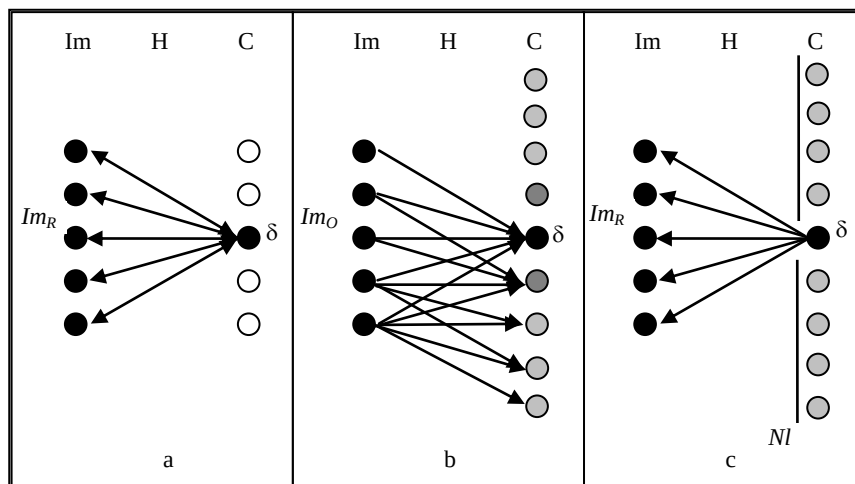


Рис. 2. Структура связей, реализуемых схемой (рис. 1)

2.2. Восстановление голограммы

Традиционный подход к созданию искусственных нейронных сетей (ИНС) предполагает, что обученная НС работает именно с той структурой связей, которая была сформирована при обучении – в данном случае «звездой Гроссберга». Это, безусловно, верно для ИНС с локализованными связями, например, созданными на электронной элементной базе. Однако

реальные свойства фундаментального явления дифракции и голограммы как дифракционного элемента, реализующего матрицу весов межнейронных связей, вносят коррективы в этот постулат, существенно расширяя возможности ассоциативной обработки по сравнению с традиционной моделью, которые и будут продемонстрированы ниже.

Передаточная характеристика проявленной голограммы для интересующего нас $+1$ порядка дифракции $\eta(F^*(Im_A))$, где η – оператор голографической регистрирующей среды, а астериск обозначает комплексное сопряжение. При помещении во входную плоскость In объектного изображения Im_B за Фурье-голограммой H формируется распределение $F(Im_B)\eta(F^*(Im_A))$, а в задней фокальной плоскости C второй Фурье-преобразующей линзы L_2 формируется функция взаимной корреляции $F(F(Im_B)\eta(F^*(Im_A))) = Im_B \otimes Im_A^\eta$, где $\otimes$ – символ операции корреляции, а Im_A^η – результат фильтрации изображения Im_A оператором η . Эта схема (рис. 1) известна как голографический коррелятор Ван дер-Люгта, вычисляющий функцию взаимной корреляции объектного и эталонного изображений методом согласованной фильтрации.

Классический НС подход предполагает, что если при обучении сформирована определенная структура связей, в данном случае «звезда Гроссберга», связывающая сенсорный слой In с единственным вычислительным нейроном в слое $Согг$, то только эти связи и могут проводить возбуждение от слоя In к единственному нейрону слоя $Согг$. В случае голографического коррелятора этот нейрон суть глобальный максимум автокорреляционной функции (ГМ АКФ), с «оптической» точки зрения представляющий собой восстановленное голограммой изображение точечного опорного источника δ . Однако если голограмма записана на тонкой регистрирующей среде, то она обладает свойством угловой инвариантности. В сочетании со сдвиговой инвариантностью Фурье-преобразования это ведет к тому, что каждый элемент разрешения объектного изображения im_{Bi} как точечный источник независимо активирует записанную на голограмме звезду Гроссберга. Каждая звезда, в свою очередь, восстанавливает в слое $Согг$ эталонное изображение Im_A , т.е. активирует N_A нейронов, где N_A – число элементов разрешения (активных нейронов) в эталонном изображении Im_A . Соседний элемент разрешения объектного изображения im_{Bi+1} также активирует свою звезду Гроссберга, восстанавливая в слое $Согг$ эталонное изображение Im_A , смещенное относительно предыдущего на один нейрон (рис. 2б). Суперпозиция восстановленных в плоскости $Согг$ и смещенных друг относительно друга эталонных изображений Im_A и формирует функцию взаимной корреляции объектного Im_B и эталонного изображений Im_A . Таким образом, вследствие свойства угловой инвариантности тонкой голограммы, голограмма при ее восстановлении изображением Im_B формирует не одну, а N_B звезд Гроссберга, которые в корреляционной плоскости $Согг$ активируют $N_C = N_A + N_B - 1$ нейронов.

Известно, что НС «звезда Гроссберга» позволяет решить задачу распознавания по критерию превышения уровнем возбуждения вычислительного нейрона (δ -нейрон на рис. 2б) заданного порога при предъявлении обученной сети входного вектора. Для решения задачи распознавания в схеме коррелятора Ван дер-Люгта используется единственная звезда $Im_A \rightarrow \delta$, где δ – нейрон, активированный ГМ АКФ. Эта звезда соответствует сформированной при обучении и показана на рисунке 2а. Остальные $N_B - 1$ звезд в задаче распознавания не используются.

2.3. Ассоциативная память – схема с обращением волнового фронта в корреляционной плоскости

Комбинация звезд Гроссберга «instar – outstar» позволяет реализовать модель ассоциативной памяти. Если звезды идентичны, то память авто-ассоциативная, если различны, то – гетеро-ассоциативная. В рассматриваемой оптической схеме модель авто-ассоциативной памяти (ААП) реализуется при помещении в корреляционной плоскости *Corr* нелинейного фильтра *Nl* и устройства обращения волнового фронта РСМ (фазо-сопрягающего зеркала, которое, в отличие от обычного зеркала, не меняет при отражении правую сторону на левую) (рис. 2а). РСМ обеспечивает прохождение света через оптическую схему в обратном направлении, т.е. $Corr \rightarrow H \rightarrow Out$, где *Out* – выходная плоскость, оптически сопряженная с входной *In* посредством полупрозрачного зеркала *M*. При обращении волнового фронта в слое *Corr* для каждого *C*-нейрона как независимого точечного источника голограмма также формирует звезду Гроссберга «outstar». В результате в слое *Out* активируется $(2N_A + N_B - 2)$ нейронов, т.е. $(N_A + N_B - 1)$ наложенных и смещенных друг относительно друга изображений эталона Im_A^{η} .

Для реализации модели ААП нелинейный фильтр *Nl* настраивается таким образом, чтобы выделить из корреляционного распределения только ГМ АКФ и режектировать боковые максимумы корреляционной функции. В результате, в обратном ходе лучей $Corr \rightarrow H \rightarrow Out$, ГМ АКФ как точечный источник восстанавливает в плоскости *Out* единственное эталонное изображение

$$Nl(Im_B \otimes Im_A)^* * Im_A^{\eta*} = \delta * Im_A^{\eta*} = Im_A^{\eta*},$$

где астериск – символ комплексного сопряжения, а $*$ – символ операции свертки (рис. 2с.). Отметим, что само эталонное изображение Im_A , с которого была записана голограмма *H*, может быть восстановлено только при линейном операторе η , что для большинства реальных изображений физически невыполнимо в силу фундаментального свойства ограниченности динамического диапазона регистрирующих сред.

Если на голограмме записан не один эталон Im_A , а несколько, пространственно разнесенных во входной плоскости In , то при восстановлении голограммы объектным изображением Im_B в корреляционной плоскости формируются также пространственно разнесенные функции взаимной корреляции Im_B с каждым из эталонов. Настройка оператора Nl позволяет выделить из формируемого набора ГМ АКФ либо один, либо несколько корреляционных максимумов, восстанавливающих в обратном ходе лучей в плоскости Out эталоны, в наибольшей степени соответствующие объектному изображению. При этом яркость каждого из восстановленных эталонов будет пропорциональна коэффициенту его корреляции с объектным изображением. Итерационная процедура, реализуемая при помещении в плоскости Out второго фазосопрягающего зеркала, позволяет в конечном счете оставить только один эталон, в наибольшей степени соответствующий объектному изображению.

Таким образом, с точки зрения структуры связей задача реализации модели ААП в схеме Фурье-голографии заключается в редуцировании матрицы связей, активируемой голограммой при ее восстановлении объектным изображением, к первоначальной единственной звезде Гроссберга, предъявлявшейся при обучении (рис. 2с). В следующем разделе мы покажем возможность использования этих, не используемых как в модели ААП, так и при распознавании, связей от боковых максимумов корреляционной функции для реализации регрессионных моделей обработки.

2.4. Линейный предсказатель и функция селективного внимания

В настоящем разделе для связности изложения кратко повторим результаты работ [7, 8]. Задача предсказания в теории случайных процессов рассматривается как частный случай задачи наилучшей оценки [3, 4, 9]. Для упрощения выкладок, но без потери общности, примем допущение о разделимости переменных в функции, описывающей изображение как реализацию случайного поля. Пусть $Im(x)$ – реализация стационарной (в широком смысле) случайной функции с автокорреляционной функцией $C(\xi)$, наблюдаемой на $[x_{Min}, x_0]$, где $x_0 = 0$ – точка наблюдения. Пусть Фурье-голограмма записана с Im_A , восстанавливается Im_B , обе функции принадлежат одному пространству. Наилучшая линейная оценка значения случайной величины $Im_{Bpred}(x_k)$ по $Im_A(x)$ в точке x_k , $k > 0$, определяется

$$Im_{Bpred}(x_k) = \int_{x_{Min}}^{x_0} Im_B(x_0 - x) a(x) dx, \quad (1)$$

где весовая функция $a(x)$ находится из решения уравнения

$$\int_{x_{Min}}^{x_0} a(x) C_{BA}(|x - \xi|) dx = C_{BA}(x_k + \xi), \quad (2)$$

где C_{BA} обозначает функцию взаимной корреляции $Im_B(x)$ и $Im_A(x)$. Поскольку в оптике $Im(x) \in [0,1]$, то условие $M(Im(x))=0$, где M – математическое ожидание, может быть опущено [9]. Для решения задачи в схеме рисунка 1 дважды применим к (1) Фурье-преобразование и теорему Бореля о свертке, откуда получим

$$Im_{Bpred}(-x_k) = F(F(Im_B(x_0 - x)) \cdot F(a(x))). \quad (3)$$

Выражение (2) в Фурье-пространстве примет вид

$$F(a(x)) \cdot F(C_{BA}(|x - \xi|)) = F(C_{BA}(x_k + \xi)),$$

откуда, опустив элементарные преобразования и предположив, что голограмма обладает свойством угловой инвариантности, получим выражение

$$Im_{Bpred}(x_k) = F\left(\frac{F(C_{BA}(x_k + \xi))}{F^*(Im_A(x))}\right), \quad (4)$$

где астериск обозначает комплексное сопряжение.

Выражение (4) может быть реализовано в схеме (рис. 1) посредством процедуры, состоящей из следующих двух этапов:

1 этап – формирование в слое С распределения $C_{BA}(\xi)$. На этом этапе схема работает как коррелятор Ван дер-Люгта.

2 этап – прохождение возбуждения от выделенного из АКФ фрагмента $C_{BA}(x_k + \xi)$ в обратном направлении $C \rightarrow H \rightarrow Out$ через матрицу связей с инверсной передаточной характеристикой $H^{-1}(\nu) = (F(Im_A))^{\eta^{-1}}$.

Из (4) следует возможность реализации в схеме (рис. 1) функции селективного внимания как частного случая феномена «познавательного дрейфа», высвечивающей ту область объектного изображения, в которой произошли изменения по сравнению с эталоном. Пусть $Im_B(x)$ описывается:

$$\begin{aligned} Im_B(x) &= Im'_A(x) \cup Im_C(x) \\ Im'_A(x) &\subset Im_A(x) \\ Im_C(x) \cap Im'_A(x) &= 0 \end{aligned}$$

Рассмотрим поля, восстановленные в областях A' и C , занимаемых в плоскостях In и Out фрагментами $Im'_A(x)$ и $Im_C(x)$, соответственно. Поле, восстанавливаемое в области A' плоскости Out , может быть представлено как сумма интерполяции $Im'_{AInter}(x_k)$ и экстраполяции $Im_{Cpred}(x_k)$, т.е.

$$\begin{aligned} Im'_A(x_k) &= Im'_{AInter}(x_k) + Im_{Cpred}(x_k) = \\ &F\left(\frac{F(C_{A'A}(x_k + \xi))}{F^*(Im_A(x))}\right) + F\left(\frac{F(C_{CA}(x_k + \xi))}{F^*(Im_A(x))}\right); k \in [-N_A, -N_C]. \end{aligned} \quad (5)$$

Соответственно, поле в области C суть сумма экстраполяции $Im'_{Apred}(x_k)$ и интерполяции $Im_{CInter}(x_k)$, т.е.

$$\begin{aligned} Im_C(x_k) &= Im'_{Apred}(x_k) + Im_{CInter}(x_k) = \\ &F\left(\frac{F(C_{A'A}(x_k + \xi))}{F^*(Im_A(x))}\right) + F\left(\frac{F(C_{CA}(x_k + \xi))}{F^*(Im_A(x))}\right); k \in [-N_C, 0]. \end{aligned} \quad (6)$$

В соответствии с (1), $C_{A'A}(x_k + \xi)$ в (5) включает в себя $C_{A'A}(0)$, т.е. ГМ АКФ. В то же время в формировании поля (6), в оценку $Im'_{Apred}(x_k)$ по $Im_A(x)$ компонент $C_{A'A}(0)$ вклад не вносит. Поскольку оговорено, что $Im'_A(x)$ и $Im_C(x)$ реализации одного процесса, то математическое ожидание (5) и (6) одинаково. Отсюда следует, что если на этапе $C \rightarrow H \rightarrow Out$ режектировать ГМ АКФ, то мат. ожидание (5) уменьшится, в то время как математическое ожидание (6) практически не изменится. Таким образом, средняя амплитуда поля в области С будет больше, чем в области А'. При этом, как нетрудно видеть из (5) и (6), восстановленные в областях А' и С поля не являются ни изображением Im_A , ни Im'_A , ни Im_C .

Для оценки в первом приближении отношения средних интенсивностей восстановленных полей в областях А' и С рассмотрим итерацию $C \rightarrow H^{-1} \rightarrow Out$ как вычисление кросс-корреляции $C(x_k + \xi)$ с Im_A^{-1} , где средний квадрат кросс-корреляционного поля описывается

$$\mu^2 \approx 2\kappa W_B^2 \frac{S_{Corr}}{S_A},$$

где κ – коэффициент, зависящий от функции корреляции поля, S_A и S_{Corr} – площади эталона и корреляции, соответственно, W_B – энергия объектного изображения. Величина отношения сигнал/помеха (по энергии) в корреляционном поле в первом приближении описывается выражением

$$V \approx \frac{1}{2\kappa} \frac{S'_A}{S_{Corr}},$$

где S'_A – площадь фрагмента $Im'_A(x)$. Отсюда, опуская элементарные преобразования, получим оценку отношения средних интенсивностей восстановленных полей $Im'_A(x)$ и $Im_C(x)$ на границе А' и С в следующем виде

$$\left\langle \frac{Im'^2_A}{Im^2_C} \right\rangle \approx \left[\frac{S'_A \sqrt{2\kappa \frac{S_{Corr}}{S_A}} + S_C}{S_A} \right]^2. \quad (7)$$

Из (4) видно, что при режекции ГМ АКФ строится непрерывная оценка, состоящая из $Im_{CInter}(x_k)$ и $Im_{Cpred}(x_k)$, т.е. в восстановленном изображении от границы областей А' и С к краям средняя интенсивность поля убывает более плавно, т.е. имеет место аналог эффекта концентрации внимания на границе.

2.5. Структура связей при реализации модели линейного предсказателя

На рисунке 3 приведена структура связей, обеспечивающих формирование решения (5). На рисунке приведена только одна (нижняя) половина. Из рисунка 3 видно, что если Фурье-голограмма обладает свойством угловой инвариантности, то требование на выделение на втором шаге фрагмента $C(x_k + \xi)$ из автокорреляционной функции выполняется автоматически для всех $k \in [0, N_A]$.

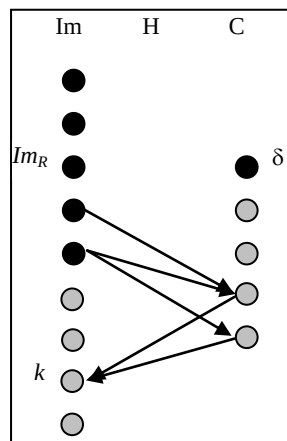


Рис. 3. Структура связей для реализации модели предсказателя

Реализация выражения (5) предполагает выполнение условия $\xi \in [x_{Min}, x_0]$, или в дискретной форме $k \in [0, N_A]$. Из рисунка 3 видно, что k -й *In*-нейрон получает возбуждение от $(N_A - k)$ *Conn*-нейронов и через них связан с $(N_A - k)$ *In*-нейронами, активированными Im_A . Иными словами, физически реализуемо условие $\xi_k \in [0, (N_A - k)]$, т.е. предсказание на глубину k вычисляется по базе $(N_A - k)$, причем полный набор связей не обеспечивается. Обеспечение полного набора связей возможно для

$$k = N_A - N_B.$$

3. Экспериментальная иллюстрация

В эксперименте было использовано аэрофотоизображение лесного массива, поскольку этот тип природных объектов наиболее близок к стационарным полям. Размер эталона 650×650 пикселей. Объектное изображение отличалось от эталона частью С; для замены использовался соседний фрагмент того же снимка размером 650×200 пикселей. На рисунке 4 приведено поле, восстановленное в плоскости Out при режекции ГМ АКФ. Область С ярче области А', но, как и следует из (5) и (6), изображение опознано быть не может. Фильтрация оператором η привела к утрате всех деталей кроме контуров крон.

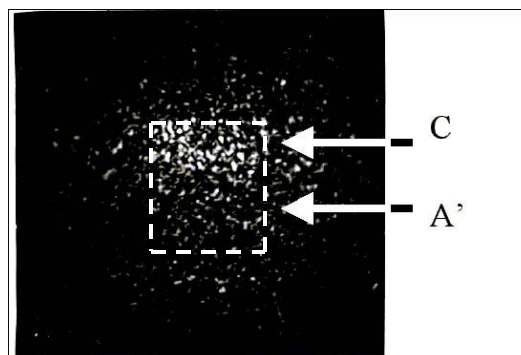


Рис. 4. Экспериментальная иллюстрация функции селективного внимания

Заключение

Таким образом, 4f-схема Фурье-голографии с обращением волнового фронта в корреляционной плоскости строит наилучшую в смысле среднего квадрата ошибки линейную оценку при использовании на этапе обратного прохождения света голограммы с инверсной передаточной характеристикой. Тем самым, если изображение суть реализация стационарного в широком смысле случайного поля, то схема строит корректное предсказание. В противном случае возникает аналогия с биологическими прототипами, которые также строят внутреннюю модель окружающего мира, исходя из примата устойчивости модели по отношению к адекватности. Согласно парадигме функциональной системы, именно предсказание, формируемое на основе внутренней модели окружающего мира суть ключевой механизм, обуславливающий различные эффекты восприятия, в том числе и эффект «познавательного дрейфа», частный случай которого и реализован в данной работе. Отметим интересную особенность – представленная модель реализации феномена познавательного дрейфа и классическая голографическая ААП дополняют друг друга – в нашем случае глобальный максимум АКФ режектируется и используются только боковые максимумы корреляционного поля, для ААП, наоборот, – используется только ГМ АКФ.

В свете современных тенденций развития оптических информационных систем необходимо отметить существенное требование к физической реализации модели – Фурье-голограмма должна быть тонкой по критерию угловой инвариантности. Это требование вступает в противоречие со стремлением к увеличению объема памяти и энергетической эффективности устройства, поскольку как максимальный объем памяти, так и максимальная дифракционная эффективность достигаются при использовании объемных голограмм, принципиально не обладающих свойством угловой инвариантности. Возможно, это противоречие суть лишь частный случай более общего принципа, ограничивающего возможности одновременного увеличения объема памяти и интеллектуальных способностей одного устройства.

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность проф. О.П. Кузнецову и проф. И.Б. Фоминых за дискуссии, способствовавшие постановке данной работы.

Библиографический список

1. Анохин, П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем / П.К. Анохин. – М. : АН СССР, 1971.
2. Анохин, П.К. Философский смысл проблемы интеллекта / П.К. Анохин // Синергетика и психология. Тексты. Вып. 3. Когнитивные процессы. – М. : Когито-центр, 2004. – С. 301.

3. Вентцель, А.Д. Курс теории случайных процессов / А.Д. Вентцель. – М. : Наука, 1975.
4. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчарова. – М. : Высшая школа, 2000.
5. Гергей, Т. Когнитивные системы – потребность информационного общества : тр. IX национальн. конф. по искусственному интеллекту, 28.09–02.10.04, Тверь / Т. Гергей. – М. : Физматлит, 2004. – Т. 1. – С. 3.
6. Моллер, Р. Восприятие через антиципацию / Р. Моллер, Х.-М. Гросс // Синергетика и психология. Тексты. Вып. 3. Когнитивные процессы. – М. : Когито-центр, 2004. – С. 218.
7. Павлов, А.В. О применимости модели линейной регрессии к описанию Фурье-голографии / А.В. Павлов // Оптика и спектроскопия. – 2005. – Т. 98, № 6. – С. 1033–1037.
8. Павлов, А.В. Реализация модели линейного предсказателя методом Фурье-голографии / А.В. Павлов // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72, № 2. – С. 43–47.
9. Grimmet, G.R. Probability and Random Processes / G.R. Grimmet, D.R. Sterzaker. – Oxford : Oxford Sc. Publ., Claredon Press, 1992.

УДК 159.9:535.4

© Орлов В.В., 2008

СТРУКТУРА ПАМЯТИ ЧЕЛОВЕКА: ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассматривается преобразование массива информации, хранимого в памяти человека по мере запоминания им новой информации. Показано, что информация, хранимая в памяти, образует структуру в виде смысловых блоков. Анализ выполнен в рамках голографической модели памяти человека, согласно которой в основе памяти лежит принцип записи и восстановления информации объёмными наложенными голограммами.

В начале XX в. было высказано предположение, что процессы в мозге человека носят волновой характер. Эта гипотеза после открытия голографии получила своё развитие в предположении, что в основе памяти человека лежит голографический принцип записи и восстановления волнового поля [8]. Аргументами в пользу такой аналогии послужило то, что как память человека, так и голограмма обладают свойствами ассоциативности и дистрибутивности. Под ассоциативностью понимается способность восстанавливать весь образ объекта по его фрагменту, под дистрибутивностью то, что информация о каждом образе распределена по всему объёму мозга (соответственно голограммы), а не сосредоточена в его небольшой части.

Ранее мы обратили внимание на то, что память человека подобна наложенным голограммам, т.е. голограммам, записанным на одном участке регистрирующей среды. Действительно, все образы, хранимые в памяти человека, наложены друг на друга, поскольку занимают один и тот же объём мозга. На основе данной аналогии между наложенными голограммами и памятью человека была предложена голографическая модель памяти человека [3, 7], свойства которой соответствуют положениям гештальт-психологии.

Согласно этой модели информация хранится в мозге в виде наложенных голограмм. Совокупность объектных волн голограмм представляет собой совокупность образов, хранимых в памяти. Опорные волны голограмм представляют собой слова языка, на котором думает человек, соответствующие этим образам. Исследование свойств объёмных наложенных голограмм показало, что при их восстановлении возникают перекрёстные помехи и искажения, обусловленные многократной дифракцией волн на решётках голограмм [4]. Кроме того, если процесс записи голограмм нелинеен, то у них возникают дополнительные решётки, дифракция на которых также вызывает перекрёстные помехи голограмм [5]. Данные искажения и перекрёстные помехи отсутствуют, если совокупность объектных волн наложенных голограмм описывается унитарной матрицей. Поэтому было предложено при голографической записи информации представлять записываемую информацию в виде унитарной матрицы [4]. Естественно предположить, что образы, хранимые в памяти человека, организованы так, чтобы извлекать их из памяти без искажений. Поэтому в рассматриваемой нами голографической модели памяти предполагается, что совокупность образов, хранимых в памяти, описывается унитарной матрицей. Каждая строка такой матрицы содержит информацию об одном из образов, хранимых в памяти. Из представления информации в виде унитарной матрицы следуют свойства памяти человека, соответствующие положениям гештальт-психологии [3, 7].

Согласно голографической модели памяти сенсорная информация о образах внешнего мира хранится в памяти человека в виде произвольной матрицы, которая в результате высших форм психической деятельности расширяется до унитарной матрицы. Расширение исходной сенсорной матрицы до унитарной соответствует положению гештальт-психологии о том, что совокупность нескольких образов содержит новую информацию, не содержащуюся в отдельных образах. Свойство целостности структуры психических процессов, понимаемое как то, что из такой структуры нельзя ни изъять ни один её элемент, ни добавить к ней новый, соответствует свойству унитарной матрицы. Унитарная матрица перестаёт быть унитарной, если из неё убрать любую строку или добавить к ней любую новую строку. Существенно, что из одной произвольной сенсорной матрицы можно получить бесконечно большое число унитарных матриц одного порядка. При этом число возможных порядков унитарной матрицы также

бесконечно. Этой неоднозначности построения унитарной матрицы в голографии, в психологии соответствует то, что разные люди, находясь в одних и тех же условиях и получая от своих органов чувств одни и те же ощущения, воспринимают эти условия несколько по-разному, в зависимости от своих индивидуальных особенностей

В процессе своей жизни человек постоянно получает новую информацию, в его мозге формируются и запоминаются новые образы. Поэтому прежняя унитарная матрица со временем должна преобразовываться в новую, содержащую как ранее записанную, так и новую информацию. В настоящей работе рассмотрены возможные пути такого преобразования.

Условию сохранения ранее полученной информации при запоминании новой информации удовлетворяет квазидиагональная унитарная матрица

$$\begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & & & \\ & \mathbf{B}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \mathbf{B}_N \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{B}_i$, $i=1,2,\dots,N$ – унитарные матрицы, содержащие информацию, относящиеся к различным областям деятельности человека. Квазидиагональный характер матрицы $\mathbf{A}$ соответствует предположению психологов, что информация в памяти человека структурирована в виде смысловых блоков [1, 2], в качестве которых выступают унитарные матрицы $\mathbf{B}_i$, $i=1,2,\dots,N$.

При запоминании новой информации она в зависимости от своего содержания может вводиться в уже существующий смысловой блок или образовывать новый блок. В первом случае новые образы добавляются в одну из матриц $\mathbf{B}_i$, $i=1,2,\dots,N$ в виде новых вектор-строк. Вся матрица $\mathbf{B}_i$ перестраивается исходя из условия её унитарности согласно методу, рассмотренному в [3]. При этом изменяются все вектор-строки матрицы. Таким образом, присоединение нового образа к уже существующему смысловому блоку образов вызывает изменение всех образов данного блока. При запоминании информации, относящейся к новой области деятельности человека, порядок квазидиагональной унитарной матрицы $\mathbf{A}$ увеличивается за счёт включения в неё новой унитарной матрицы $\mathbf{B}_{N+1}$, содержащей новую информацию

$$\begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & & & \\ & \mathbf{B}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \mathbf{B}_N \\ & & & & \mathbf{B}_{N+1} \end{bmatrix}$$

Новая унитарная матрица $\mathbf{B}_{N+1}$ может формироваться независимо от уже существующих матриц $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \dots, \mathbf{B}_N$ или на их основе. В первом случае она формируется по ранее рассмотренному методу [3, 7]. В последнем случае новая унитарная матрица создаётся, как комбинация уже существующих матриц. Пусть среди матриц $\mathbf{B}_1, \mathbf{B}_2, \dots, \mathbf{B}_N$ есть две различные матрицы $\mathbf{B}_n$ и $\mathbf{B}_l$ одного порядка k . На их основе может быть образована новая унитарная матрица $\mathbf{B}_{N+1}$ порядка $2k$

$$\mathbf{B}_{N+1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_n & \mathbf{B}_l \\ \mathbf{B}_n & -\mathbf{B}_l \end{bmatrix}.$$

Применяя операцию перестановки P_i , $i = 1, 2, \dots, k!$ к строкам матрицы $\mathbf{B}_l$, получим $k!$ различных матриц $\mathbf{B}_{N+i}$ порядка $2k$

$$\mathbf{B}_{N+i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_n & P_i \mathbf{B}_l \\ \mathbf{B}_n & -P_i \mathbf{B}_l \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, k!.$$

Данный метод формирования новых унитарных матриц из уже существующих можно применять любое число раз. Вместо двух различных матриц могут использоваться два экземпляра одной матрицы $\mathbf{B}_n$. Тогда новые матрицы будут иметь вид

$$\mathbf{B}_{N+i} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} \mathbf{B}_n & P_i \mathbf{B}_n \\ \mathbf{B}_n & -P_i \mathbf{B}_n \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, k!.$$

При таком методе формирования новых смысловых блоков новые смысловые блоки будут содержать все возможные комбинации образов двух исходных смысловых блоков.

Рассмотренный метод формирования новых унитарных матриц из уже существующих соответствует в психологии тому факту, что у взрослого человека новые образы формируются и запоминаются, в основном, в виде новых комбинаций уже известных ему образов, хранящихся в его памяти. Формирование новых унитарных матриц без использования уже существующих характерно для ребёнка, впервые открывающего для себя новые грани окружающего его мира и имеющего в своей памяти недостаточно большой запас унитарных матриц, т.е. смысловых блоков, чтобы, используя их, запомнить новую информацию в виде нового смыслового блока [2].

Библиографический список

1. Агафонов, А.Ю. Основы смысловой теории сознания / А.Ю. Агафонов. – СПб. : Речь, 2002.
2. Линдсей, П. Переработка информации у человека / П. Линдсей, Д. Норман. – М. : Мир, 1974.
3. Орлов, В.В. Подобие свойств объёмных наложенных голограмм свойствам памяти человека / В.В. Орлов // Оптический журнал. – 2006. – № 9.

4. Орлов, В.В. Модовая теория объёмных наложенных голограмм. Перекрёстные помехи голограмм / В.В. Орлов // Оптика и спектроскопия. – 2002. – Т. 92. – № 6.
5. Орлов, В.В. О решётках, возникающих при нелинейной записи наложенных голограмм / В.В. Орлов // Письма в ЖТФ. – 2004. – Т. 30, вып. 24.
6. Орлов, В.В. Метод записи информации на объёмных наложенных голограммах, обеспечивающий считывание информации без искажений и ассоциативных помех. В.В. Орлов // Письма в ЖТФ. – 1992. – Т. 18, вып. 14.
7. Orlov, V.V. About similarity of the volume superposed holograms to the human memory / V.V. Orlov // Proc. IV International Conference for Students, Young Scientists and Engineers. «Optics-2005» International Topical Meeting on Optoinformatics, Sankt-Petersburg, Russia, 2005.
8. Pribram, K.H. In J.Gatio (Ed), Macromolecules and Behavior / K.H. Pribram. – 165–167 (1966).

УДК 535.375:551.521

© Безуглов Д.А., Сахаров И.А., Решетникова И.В., 2008

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ТОПОЛОГИИ ДАТЧИКА ФАЗОВОГО ФРОНТА

Разработан новый метод оптимизации топологии датчика фазового фронта, использующего для аппроксимации базис полиномов Цернике с использованием полярной системы координат. Предложены критерии оптимизации топологии датчика фазового фронта, что позволило существенно повысить точностные характеристики восстановления фазового фронта.

Введение

Одним из наиболее эффективных (иногда в сочетании с другими) способов ослабления возмущающего действия атмосферы на работу оптической системы является применение адаптивных методов и систем. Идеи, положенные в основу создания адаптивных систем, предложены сравнительно недавно [1].

При компенсации нестационарных фазовых искажений, которые возникают при распространении излучения в оптически неоднородной среде, в качестве измерительного устройства в адаптивных оптических системах фазового сопряжения применяются датчики фазового фронта [2, 3, 4, 5, 6]. Они являются ключевыми элементами многих современных систем управления и коррекции излучения. При этом параметры системы и спектр решаемых задач во многом определяются их возможностями.

При создании адаптивных оптических систем фазового сопряжения проводят, как правило [4, 5, 6], косвенные измерения фазового распределения на апертуре адаптивной оптической системы. Затем эти измерения одним из численных методов пересчитывают в базис функций отклика гибкого зеркала. При этом каждому из известных алгоритмов, как правило, присущи свои достоинства и недостатки, однако конечные характеристики разрабатываемых на их основе датчиков фазового фронта зависят от конкретной технической реализации последних. В связи с этим интерес к дальнейшему совершенствованию таких устройств не ослабевает.

Целью настоящей работы является разработка метода оптимизации топологии датчика фазового фронта, использующего для аппроксимации базис полиномов Цернике.

1. Алгоритм восстановления фазового фронта

Хорошо известный гартмановский тест [1], предложенный первоначально для контроля телескопической оптики, был в дальнейшем использован для адаптивной оптики и является наиболее часто применяемым типом датчика фазового фронта. Изображение входного зрачка проецируется на матрицу линз. Все изображения формируются на одном фотоприемнике, обычно ПЗС-матрице. Когда проходящий фазовый фронт плоский, все изображения расположены в правильной сетке, определенной геометрией матрицы линз. Как только фазовый фронт искажается, изображения смещаются со своих номинальных положений.

Следует отметить, что универсальным разложением фазового фронта, отвечающим ряду условий оптимальности, является разложение Карунена – Лозва [1]. Оно характеризуется следующими свойствами, обуславливающими его оптимальность: минимальной среднеквадратической ошибкой при удержании заданного числа членов в бесконечном ряде разложения, получением наибольшего по сравнению с любым другим разложением количества информации о представляемой усеченным рядом функции, какое бы число членов ряда ни удерживалось, а также некоррелированностью коэффициентов разложения, что упрощает дальнейшее использование результатов разложения и их анализ. Однако в силу того, что аналитическое такое разложение трудно представимо, для практических целей обычно [1] используют систему полиномов Цернике, достаточно близких к ним.

Для аппроксимации функций отклика гибкого адаптивного зеркала используем систему полиномов Цернике, ортогональных (ортонормированных) внутри единичной окружности или окружности радиусом R , представленных в полярных координатах r, θ [1, 2, 8]:

$$Z_j(r, \theta) = \begin{cases} \sqrt{n+1} R_n^m(r) \sqrt{2} \cos m\theta & \text{для чётных полиномов и } m \neq 0 \\ \sqrt{n+1} R_n^m(r) \sqrt{2} \sin m\theta & \text{для нечётных полиномов и } m \neq 0. \\ \sqrt{n+1} R_n^0(r) & \text{для } m = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{где } \int_0^{2\pi} \int_0^1 Z_j(r, \theta) Z_j(r, \theta) dr d\theta = \delta_j, \quad R_n^m(r) = \sum_{s=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^s (n-s)! r^{n-2s}}{s! [(n+m)/2 - s]! [(n-m)/2 - s]!}.$$

Величины n и m всегда целые и удовлетворяют условию $n \leq m$, $n - |m| =$ чётно. Индекс j является порядковым номером моды и зависит от n и m . Условие ортогональности в круге единичного радиуса имеет вид:

$$W(r) = \begin{cases} 1/\pi & \text{при } |r| \leq 1 \\ 0 & \text{при } |r| > 1 \end{cases}, \quad (2)$$

где δ_j – символ Кронекера.

Фазовый фронт, измеренный датчиком, в базисе Цернике имеет следующий вид:

$$\Phi_{изм}(r, \theta) = \sum_{j=1}^N Z_j(r, \theta) c_j, \quad (3)$$

где c_j – коэффициенты разложения фазового фронта по полиномам Цернике (сигналы с выхода датчика фазового фронта), число полиномов N в разложении определяют с помощью выражения [1]:

$$N = \left\lceil \left(\frac{-0,2944(D/r_0)^{5/3}}{\ln R_{ш}} \right)^{\frac{2}{\sqrt{3}}} \right\rceil, \quad (4)$$

где D – диаметр апертуры; r_0 – радиус корреляции; $R_{ш}$ – число Штреля.

При этом в известных устройствах подлежат измерению с помощью квадрантных фотоприемников [2, 3, 4, 5, 6] локальные наклоны фазового

фронта в точке апертуры, пропорциональные величинам вида $\frac{d\Phi(x_i, y_j)}{dx}$,

$\frac{d\Phi(x_i, y_j)}{dy}$, где $i = \overline{1, L}$; $j = \overline{1, K}$; $L \times K$ – количество квадрантных фотоприем-

ников датчика, $\Phi(x_i, y_j)$ – значения фазы на апертуре датчика. Затем эти измерения одним из численных методов пересчитывают в значения фазы $\Phi(x_i, y_j)$ или коэффициенты a_j и используют для организации управления в контуре обратной связи адаптивной оптической системы.

В отличие от известных, в предлагаемом методе подлежат измерению не локальные наклоны в плоскостях x и y , пропорциональные соответствующим производным, а тангенциальные локальные наклоны, пропор-

циональные величинам вида $\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{d\theta}$, и радиальные наклоны, пропорциональные, соответственно, величинам вида $\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{dr}$, $i = \overline{1, M}$. Для измерения этих величин предлагается использовать двухплощадные фотоприемники, расположенные в точках аперттуры на концентрических окружностях, при этом граница раздела двухплощадных фотоприемников совпадает с радиусом соответствующей окружности или перпендикулярна ему (рис. 1а, б).

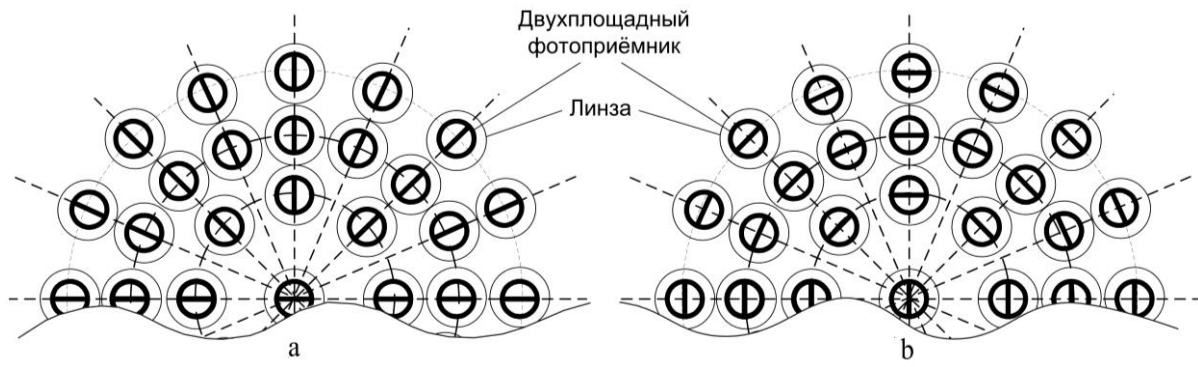


Рис. 1. Расположение фотоприемников на апертуре датчика фазового фронта:

а – тангенциальный датчик; б – радиальный датчик

Тогда решение задачи восстановления фазового фронта можно рассмотреть в следующей постановке. Пусть датчик Гартмана измеряет локальные наклоны фазового $\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{d\theta}$ в точках с координатами r_i, θ_i , при этом координаты точек r_i, θ_i могут быть выбраны в принципе произвольно. Для определенности рассмотрим, например, расположение точек, приведенное на рисунке 1а.

Для реконструкции фазы применим метод наименьших квадратов. Соответствующая квадратичная форма метода наименьших квадратов в этом случае будет иметь следующий вид:

$$J_1 = \sum_{i=0}^M \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{d\theta} - \frac{d\Phi(r_i, \theta_i)}{d\theta} \right) \cdot \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{d\theta} - \frac{d\Phi(r_i, \theta_i)}{d\theta} \right)^T, \quad (5)$$

где M – число точек измерений фазового фронта (фотоприемников).

Выражения для истинных значений градиента фазы можно представить в следующем виде:

$$\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)}{d\theta} = \frac{d}{d\theta} \sum_{j=1}^N a_j Z_j(r_i, \theta_i) = \sum_{j=1}^N a_j \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{d\theta}. \quad (6)$$

Для вычисления в явном виде значений выражения (6) следует использовать выражение (1). Подставив (6) в (5), получим:

$$J_1 = \sum_{i=0}^M \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{d\theta} - \sum_{j=1}^N a_j \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{d\theta} \right) \cdot \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{d\theta} - \sum_{k=1}^N a_k \frac{dZ_k(r_i, \theta_i)}{d\theta} \right)^T. \quad (7)$$

Значения коэффициентов a_j найдем из M линейных уравнений, приравняв к нулю частные производные квадратичной формы J_1 по a_j :

$$\frac{dJ_1}{da_j} = 0; \quad B \cdot A = C, \quad (8)$$

где B – матрица с коэффициентами $b_{k,j} = \sum_{i=0}^M \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{d\theta} \frac{dZ_k(r_i, \theta_i)}{d\theta}$; A – вектор-строка искомых коэффициентов полиномов Цернике a_j ; C – вектор-столбец правой части $c_j = \sum_{i=0}^M \frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{d\theta} \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{d\theta}$, $k, j = 1, N$.

Решение системы (8) будет иметь следующий вид:

$$A = B^{-1} \cdot C. \quad (9)$$

Следует отметить, что, как показали исследования, структура матрицы B^{-1} (местоположение в ней нулевых и ненулевых элементов) остается неизменной при произвольном выборе точек расположения двухплощадных фотоприемников. При этом изменяются только значения этих элементов.

Рассуждая аналогично, можно построить датчик фазового фронта на основе радиальных производных (рис. 1b).

Соответствующая квадратичная форма метода наименьших квадратов в этом случае будет иметь следующий вид:

$$J_2 = \sum_{i=0}^M \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{dr} - \sum_{j=1}^N a_j \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{dr} \right) \cdot \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{dr} - \sum_{k=1}^N a_k \frac{dZ_k(r_i, \theta_i)}{dr} \right)^T, \quad (10)$$

где M – число точек измерений фазового фронта.

Выражения для истинных значений градиента фазы можно представить в следующем виде:

$$\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)}{dr} = \frac{d}{dr} \sum_{j=1}^N a_j Z_j(r_i, \theta_i) = \sum_{j=1}^N a_j \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{dr}. \quad (11)$$

Для вычисления в явном виде значений выражения (11) следует использовать выражение (1). Подставив (11) в (10), получим:

$$J_2 = \sum_{i=0}^M \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{dr} - \sum_{j=1}^N a_j \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{dr} \right) G_i \left(\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{uzm}}{dr} - \sum_{k=1}^N a_k \frac{dZ_k(r_i, \theta_i)}{dr} \right)^T. \quad (12)$$

Значения коэффициентов a_j найдем из M линейных уравнений, приравняв к нулю частные производные квадратичной формы J_2 по a_j :

$$\frac{dJ_2}{da_j} = 0; \quad B_1 \cdot A = C, \quad (13)$$

где B – матрица с коэффициентами $b_{k,j} = \sum_{i=0}^M \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{dr} \frac{dZ_k(r_i, \theta_i)}{dr}$; A – вектор-строка искоемых коэффициентов полиномов Цернике a_j ; C – вектор-столбец правой части $c_j = \sum_{i=0}^M \frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{изм}}{dr} \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{dr}$, $k, j = 1, N$.

Решение системы (13) будет иметь следующий вид:

$$A = B_1^{-1} \cdot C. \quad (14)$$

Таким образом, для заданной конфигурации точек матрицы B^{-1} или B_1^{-1} могут быть рассчитаны заранее, а алгоритм вычисления коэффициентов разложения в базисе Цернике вектора A сводится к вычислению вектора правой части C и матричному умножению на матрицу B^{-1} или B_1^{-1} .

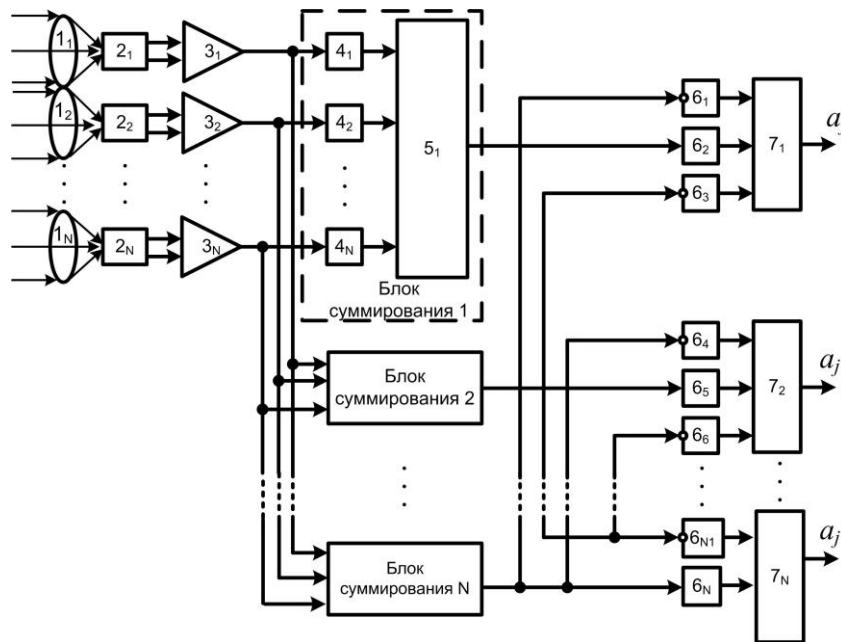


Рис. 2. Функциональная схема датчика тангенциального типа:

- 1 – линза, 2 – матрица двухплощадных фотоприемников;
- 3 – дифференциальные усилители; 4 – масштабные усилители блока суммирования;
- 5 – сумматоры блока суммирования; 6 – группа масштабных усилителей;
- 7 – вторая группа сумматоров

На базе рассмотренного метода восстановления фазового фронта может быть построена структура соответствующего датчика. Данная структура приведена на рисунке 2 и реализует алгоритм следующим образом. Искривленный волновой фронт фокусируется матрицей линз 1 на мат-

рицу двухплощадных фотоприемников 2. При этом в каждом локальном участке, ограниченном апертурой линзы, сфокусированное пятно смещается относительно оптической оси в зависимости от локального наклона фазового фронта, пропорционального величинам вида $\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{изм}}{d\theta}$ в точках с координатами r_i, θ_i .

Наличие искажений фазового фронта приводит к появлению разностных сигналов на выходе фотоприемников 2, которые усиливаются дифференциальными усилителями 3, выходные сигналы которых будут пропорциональны величинам $\frac{d\Phi(r_i, \theta_i)_{изм}}{d\theta}$. Затем сигналы с выхода дифференциальных усилителей 3 поступают на блоки суммирования, где вычисляются сигналы, пропорциональные элементам вектор-столбца правой части c_j .

При этом коэффициенты усиления K_y масштабных усилителей 4 блока суммирования вычисляются в соответствии с выражением

$$K_{y_j} = \frac{dZ_j(r_i, \theta_i)}{d\theta}. \quad (15)$$

Выходные сигналы блоков суммирования 5, пропорциональные величине C_j , поступают на входы группы масштабных усилителей, коэффициенты усиления которых вычисляются следующим образом:

$$K_{kj} = b_{k,j}^{-1}. \quad (16)$$

При этом учитываются только ненулевые элементы. Выходные сигналы вторых масштабных усилителей 6 поступают на входы сумматоров 7, с выхода которых снимаются сигналы a_j , пропорциональные коэффициентам разложения в базисе Цернике.

Сигналы с выхода датчика могут быть использованы непосредственно для подачи на вход гибкого пьезоэлектрического зеркала адаптивной оптической системы, что существенно упрощает ее конструкцию.

2. Оптимизация топологии датчика фазового фронта

При технической реализации датчика фазового фронта, при произвольном выборе мест расположения фотоприемников оказывается, что весовые коэффициенты K_y имеют небольшие значения по модулю. Это приводит к тому, что в этих каналах отношение сигнал/шум значительно меньше, чем в других, что обуславливает существенное ухудшения технических характеристик датчика фазового фронта. Исследования показали, что величина данных весовых коэффициентов зависит от расположения фотоприемников. Оптимальное расположение фотоприемников следует выбирать с учетом максимума следующего критерия.

Для тангенциального датчика фазового фронта (рис. 4):

$$J_3 = \max \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial Z_i(r, \theta)}{\partial \theta} \right)^2, \quad (17)$$

для радиального датчика фазового фронта:

$$J_4 = \max \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial Z_i(r, \theta)}{\partial r} \right)^2. \quad (18)$$

Рассмотрим пример оптимизации топологии тангенциального датчика фазового фронта.

По формуле (4) определяем число полиномов Цернике. Так, например, $D=0,05\text{ м}$, $L=5\text{ км}$, максимальное значение M в соответствии с (4) не превышает $12 \div 16$. В нашем случае примем $N=16$. Для выбора координат оптимального расположения двухплощадных фотоприемников, расположенных в точках апертуры на концентрических окружностях радиуса r , используем критерий (17). На рисунке 3 точки a, b, c, d являются оптимизированными полярными координатами расположения фотоприемников датчика на окружности $r_1=0,2$ и точки e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, которые являются координатами расположения фотоприемников датчика на окружности $r_4=0,8$. Далее аналогично выбираются оптимизированные координаты для расположения квадрантных фотоприемников на окружностях $r_2=0,4$, $r_3=0,6$, $r_5=1$. В итоге мы получаем оптимизированную топологию тангенциального датчика фазового фронта.

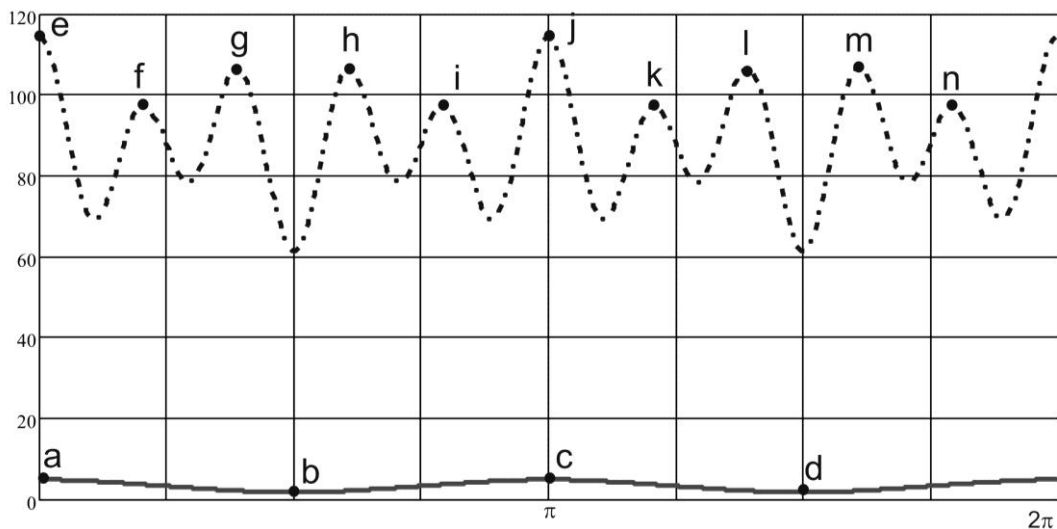


Рис. 3. Выбор оптимального расположения фотоприемников датчика

Рассуждая аналогично, можно оптимизировать топологию радиального датчика фазового фронта используя критерий (18).

3. Оценка шумовой ошибки восстановления фазового фронта

При проведении оценки эффективности адаптивных оптических систем на фоне гауссовских шумов следует учитывать расположение датчиков в точках апертуры на concentрических окружностях датчиков (рис. 1а, б) и при оптимизированном расположении датчиков (рис. 4).

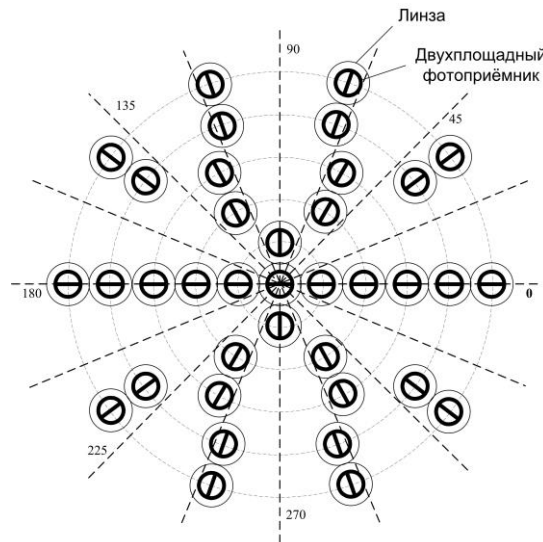


Рис. 4. Оптимизированное расположение тангенциальных датчиков на апертуре

Также была исследована зависимость дисперсии ошибки восстановления фазового фронта D_B от дисперсии шумов $D_{ш}$ в каналах датчика для топологии (рис. 1а, б) и оптимизированная топология (рис. 4) при $N=16$. Результаты исследования приведены на рисунке 5. Анализ результатов показал, что предложенный вариант оптимизации топологии датчика фазового фронта позволяет существенно повысить точность восстановления фазового фронта.

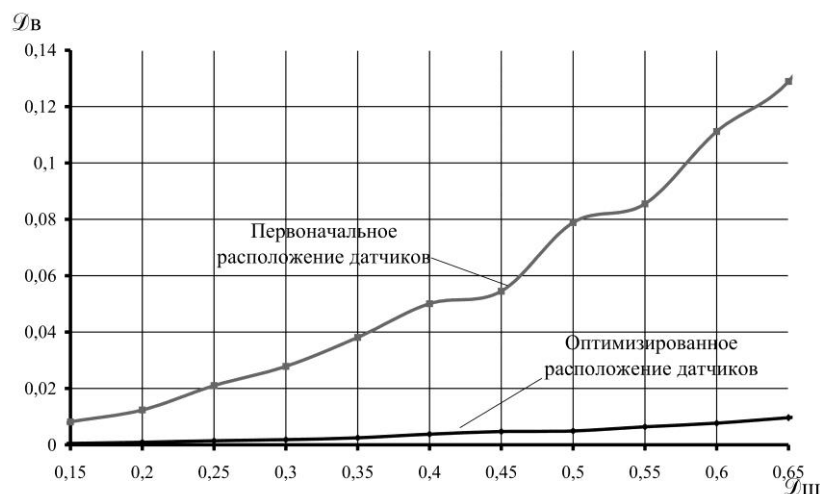


Рис. 5. Дисперсия восстановления фазового фронта

Выводы

В настоящей работе предложен новый алгоритм восстановления фазового фронта в базисе Цернике с использованием полярной системы координат. Разработана новая структурная схема датчика фазового фронта. Разработан метод оптимизации топологии датчика фазового фронта, позволяющий существенно повысить точностные характеристики датчика фазового фронта. Введены критерии оптимизации топологии датчика фазового фронта (17, 18), что позволило существенно повысить точность восстановления фазового фронта. Проведенный анализ результатов математического моделирования показал, что удалось существенно повысить технические характеристики датчика фазового фронта.

Библиографический список

1. Воронцов, М.А. Принципы адаптивной оптики / М.А. Воронцов, В.И. Шмальгаузен. – М. : Наука, 1985. – 336 с.
2. Безуглов, Д.А. Метод сплайн-аппроксимации в задаче восстановления фазового фронта / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко // Известия РАН. Сер. физическая. – 1992. – № 12. – С. 156–160.
3. Безуглов, Д.А. Адаптивные оптические системы. Методы восстановления фазового фронта, разработка структур систем и новой элементарной базы / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко, С.Е. Мищенко // Оптика атмосферы и океана (обзор). – 1995. – № 3. – С. 364–380.
4. А.С. 1647496 СССР, МКИ5 G 02 В 27/00. Датчик фазового фронта / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко, В.Л. Тюриков ; опубл. в БИ 1991, № 17.
5. А.С. 1664044 СССР, МКИ5 G 02 В 26/06. Датчик фазового фронта / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко, В.Л. Тюриков.
6. А.С. 1720051 СССР, МКИ5 G 02 В 26/06. Датчик фазового фронта / Д.А. Безуглов, Е.Н. Мищенко, М.И. Крымский, О.В. Серпенинов ; опубл. в БИ 1992, № 10.
7. Noll, R.J. Zernike polynomials and atmospheric turbulence / R.J. Noll // J. Opt. Soc. Amer. – 1976. – V 66. – P. 207–211.

Раздел 4

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 658.512:621.313

© Кобелев А.С., Родионова И.В., Игнатов С.В., 2008

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ САПР

Представлены новые функциональные модули интеллектуальной САПР электрических машин, активно развиваемой компаниями ОАО «НИПТИЭМ», «СПРУТ–Технология» и МГТУ им. Н.Э. Баумана. Охарактеризован так называемый «Параметризирующий компоновщик», существенно ускоряющий разработку КД на старте процесса проектирования. Описана программа генетического поиска, предназначенная для структурно-параметрической оптимизации электрических машин. Представлена концепция экспертной системы, предназначенной для поддержки принятия решений на этапе анализа контракта.

Функция «Параметризирующий компоновщик» конструкторской подсистемы САПР ЭМ. Конструкторская подсистема «**СПРУТ–ЭМ–Конструирование**» предназначена для автоматизации конструкторских работ в процессе проектирования электрической машины. Проектирование в подсистеме на уровне пользователя осуществляется путем структурно-параметрического синтеза элементов деталей, деталей и сборочных единиц ЭМ на основе заложенных в систему конструкторских знаний о прототипах и аналогах. Данная система, единственная на сегодняшний день, содержит основные инженерные решения по деталям и узлам асинхронных двигателей в виде «стандартных библиотек» (подобно библиотекам стандартных изделий, содержащимся в традиционных САД). Эти знания охватывают отрезок серии асинхронных двигателей (АЭД) габаритов 56–100 мм. Работа в системе заменяет ручное компьютерное документирование результатов творческой деятельности конструктора на создание изделия посредством интеллектуального диалога с системой.

Решения в подсистеме представлены в виде 2D-чертежей и их фрагментов. Несмотря на то, что на всех электротехнических заводах РФ финальным конструкторским документом, в основном, является 2D-чертеж, а не 3D-модель, в адрес подсистемы высказывались пожелания (несмотря на ее самодостаточность) о большем взаимодействии с 3D-моделлерами.

Данные пожелания нашли отклик при развитии программного обеспечения для разработки серии АЭД нового поколения – первой в РФ энергоэффективной серии АЭД¹.

Новая единая серия будет охватывать весь класс низковольтных АЭД средней мощности. Это габариты 112–355 мм, знания о которых не содержатся в подсистеме *«СПРУТ–ЭМ–Конструирование»*. В контексте создания новой серии срок 3D-проектирования АЭД в ручном режиме короче, чем срок разработки требуемого множества новых 2D компонентов конструкторской БЗ и последующее 2D-проектирование в автоматизированном режиме. Однако совместное использование 2D и 3D дает более прогрессивный результат. Нишей для 2D-проектирования оказалась следующая. Любое проектирование начинается с компоновки общего вида, требующей весьма высокой квалификации, поскольку на этом этапе конструктор, создавая новое изделие, должен одновременно и взаимосвязано контролировать большую группу проверяемых параметров, например *«зазор между крышкой и лопаткой ротора»*, *«зазор между ступицей и лобовой частью обмотки»*².

Нами было принято решение, во-первых, составить базу знаний по всем контролируемым параметрам всего класса проектируемых АЭД, во-вторых, выполнить 2D-параметризацию компоновок общего вида для всей предыдущей серии с возможностью экстраполяции решений в новую серию. Для этого пришлось выполнить трудоемкую работу по анализу и обработке КД предшествующей серии, находящейся в твердых копиях. Результаты этой работы оформлены в «субподсистему» *«Параметризирующий компоновщик»*. Сценарий работы с ним очевиден: по определяющим свойствам [1] выбирается параметризированный компоновочный чертеж, наиболее близкий к новой разработке. Чертеж уже ассоциативно связан с обязательно проверяемыми параметрами. Далее, пользуясь *Инспектором модели*, конструктор вносит желаемые компоновочные новшества. Компоновщик немедленно отображает результаты работы конструктора.

На рисунке 1 показана общая экранная форма компоновщика при работе с АЭД габарита 160 мм. Параметризированные чертежи из БЗ компоновщика через общеупотребительные редакторы, например Excel, могут передаваться в любой 3D моделлер.

¹ Последний раз полная единая серия асинхронных двигателей разрабатывалась в СССР в начале 80-х годов прошлого века. Всего в работе участвовало около 70 ВУЗов, НИИ, КБ и заводов.

² Параллельно заметим, что построение 3D модели, как правило, и начинается в так называемых 2D-«эскизниках». Для **Pro/Engineer** – это инструмент «Sketch Tool».

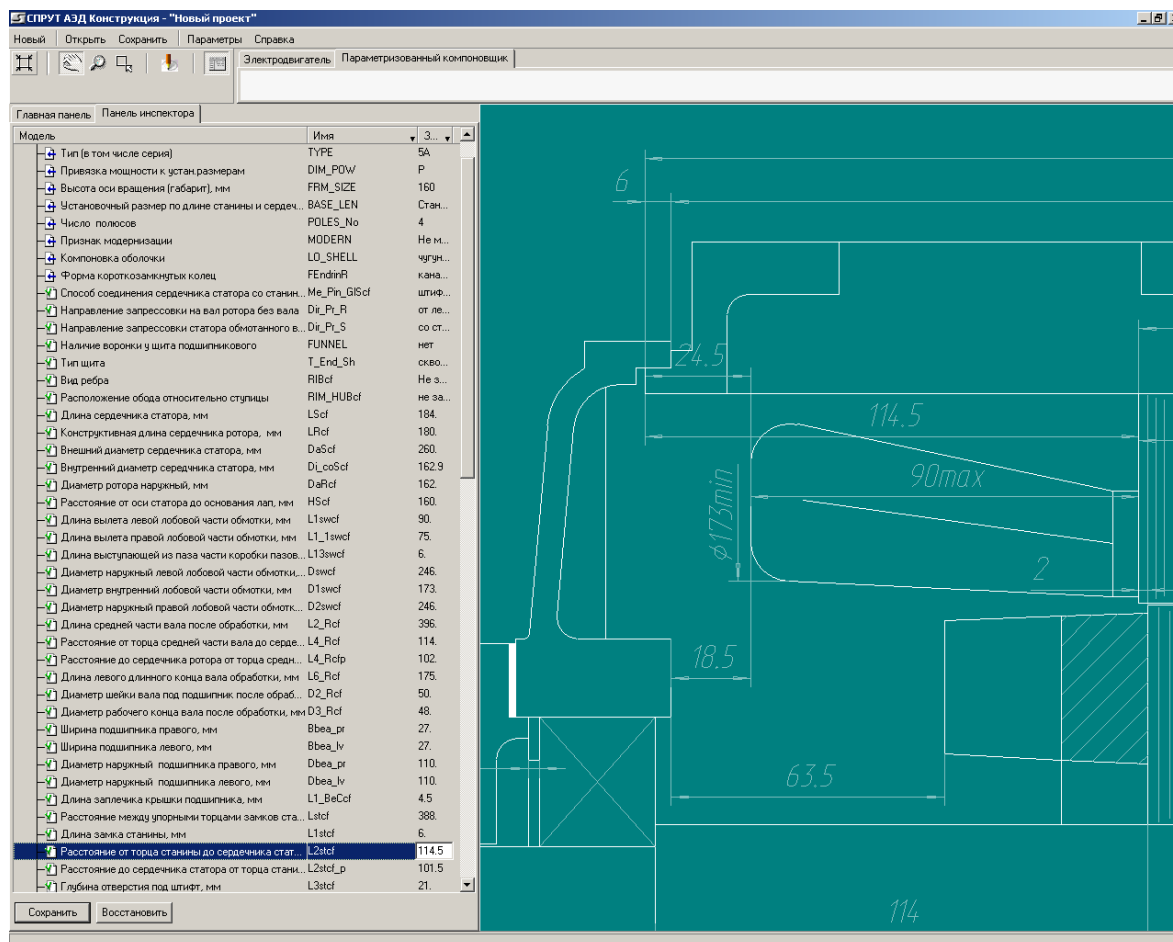


Рис. 1

Генетический алгоритм поиска оптимальной конструкции электрической машины

Генетический алгоритм для поиска оптимального структурно-параметрического решения электрической машины принят нами по следующим причинам [2].

1. ГА осуществляет поиск не путем улучшения одного решения, а методом анализа сразу нескольких известных решений. Действительно, приступая к разработке нового типоразмера АЭД новой серии, мы опираемся на опыт разработки подобных типоразмеров в нескольких предыдущих сериях.

2. ГА может дать удовлетворительное решение при оптимизации многопараметрических функций, при большом пространстве поиска, не гладком и не унимодальном (что характерно для реальных задач оптимального поиска ЭМ). ГА одновременно анализирует различные области пространства решений и более приспособлен к нахождению новых областей с лучшими значениями целевой функции за счет объединения квази-оптимальных решений из разных популяций.

3. ГА используют целевую функцию, а не ее различные приращения для оценки качества принятия решений.

4. ГА, по сравнению с традиционными оптимизационными методами, значительно легче адаптируется к изменяющимся условиям задачи.

Для написания программы нами был выбран язык C#, поддерживаемый наиболее прогрессивной платформой Microsoft .NET. Платформа .NET включает среду разработки приложений для нескольких наиболее актуальных языков программирования. При этом обеспечивается полная интеграция языков, общий механизм выполнения программ для всех языков с поддержкой .NET. Платформа содержит обширную библиотеку базовых классов, доступную при программировании на любом языке .NET. Собственно язык C# унаследовал от языка C синтаксис, многие ключевые слова и операторы. Кроме того, C# построен на улучшенной объектной модели, определенной в C++ [3]. Наличие новых, встроенных средств написания программных компонентов позволяет языку C# называться компонентно-ориентированным языком. Например, C# включает средства, которые напрямую поддерживают составные части компонентов: свойства, методы и события. Важным качеством языка C# является его способность работать в среде многоязыкового программирования.

Укажем на особенности разрабатываемого нами алгоритма генетического поиска.

1. Под хромосомой мы понимаем один из возможных наборов значений варьируемых переменных. В зависимости от класса задачи оптимизации, число генов в хромосоме может быть различным. Например, при так называемой «ремонтной задаче» варьируются только две переменные – число витков обмотки и диаметр провода; при электромагнитной оптимизации с сохранением заготовительного и разделительного штампа добавляется еще около 10 параметров, характеризующих геометрию пазов и 3 атрибута, характеризующих их структуру. Создается БЗ масок хромосом.

2. В зависимости от класса задачи создается БЗ целевых функций. Примеры целевых функций – «максимум энергетического КПД», «минимум стоимости активных материалов».

3. Входными данными целевой функции являются выходные данные математической модели электрической машины. Адекватные модели ЭМ весьма сложны. Так, программная реализация уточненной цепной электромагнитной модели содержит более 10 тысяч строк текста. Полная модель ЭМ *IntMod* объединяет электромагнитную, тепловую, виброакустическую и механическую модели, БЗ конструктивных элементов и технологические параметры [4]. Модель может быть дополнена экономическими

показателями и управленческими процедурами. Итак, поскольку $ЦФ=f(IntMod)$, $Opt \not\subset IntMod$ ³, на каждом шаге генетического алгоритма перед вычислением ЦФ приходится обращаться к математической модели ЭМ. Сказанное обостряет актуальность быстрогодействия как самого ГА, так и программы моделирования ЭМ.

4. Исходная популяция – ряд допустимых сочетаний варьируемых параметров может задаваться как случайным образом, так и вручную, либо загружаться из БЗ.

5. Варьируемые переменные в наших задачах чрезвычайно разнообразны и по семантике, и по числу возможных значений. Например, число вариантов приемлемых сочетаний зубцов статора и ротора исчисляется единицами, а число значений активной длины машины при варьировании от 100 до 250 мм с шагом в 1 мм – 151. В этой ситуации мы отказались от двоичного кодирования генов хромосомы; от операторов инверсии, транспозиции т.п.

6. Гены хромосомы представлены реальными значениями атрибутов.

7. Оператор селекции реализован для различных ее видов (рандомизация, рулетка, элитная селекция).

8. Оператор мутации применяется к хромосомам популяции с заданной вероятностью. При этом хромосома для мутации выбирается оператором селекции. Мутирующий ген в хромосоме выбирается рандомизацией. Любое значение гена может быть изменено на другое значение из списка разрешенных значений. Подобный механизм описан в работе [5]. Выбор из списка осуществляется рандомизацией. Выбор из списка ограждает задачу от недопустимых значений атрибутов.

9. Пары для кроссинговера выбираются оператором селекции.

10. Алгоритм не предусматривает создание копий хромосом родительского пула. Наша модель исходит из того, что предок, как и в природе, может «генерировать» несколько потомков, прежде чем уйдет «со сцены». Текущая (временная популяция) формируется из трех источников: это все члены популяции предков; потомки, полученные после выполнения кроссинговера; потомки, полученные в результате мутации. Далее временная популяция подвергается оператору селекции и в текущей реализации уменьшается до размеров начальной популяции. Иными словами, на этапе мутации и кроссинговера мы сохраняем предков. И на финальном этапе в селекции предки участвуют наряду с потомками.

Экранная форма программы представлена на рисунке 2.

³ Запись $Opt \not\subset IntMod$ означает, что модель $IntMod$ не объединена с блоком оптимизации.

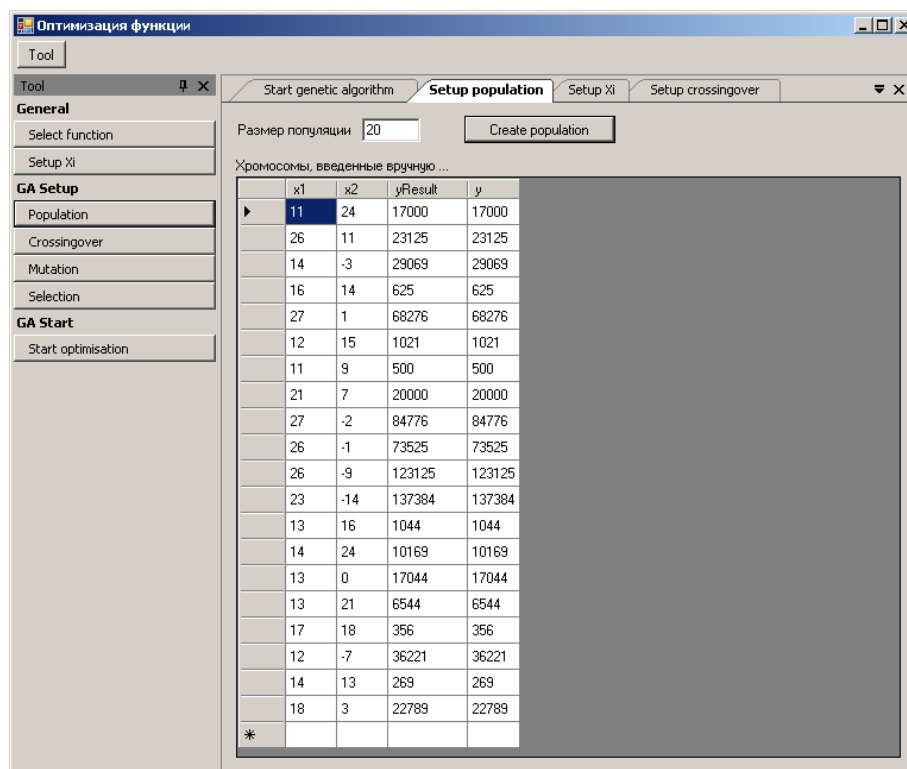


Рис. 2

В настоящее время алгоритм тестируется на тестовых функциях. Результаты тестирования примерно сопоставимы с программой [6].

Экспертная система для анализа контракта: цель и возможности.

В полный комплект КД на ЭМ закладывается, помимо основных исполнений, значительное число модификаций и специальных исполнений. Так, класс «низковольтные трехфазные АЭД габарита 50–355 мм» в совокупности содержит более миллиона основных исполнений, специсполнений и модификаций. Реальный номенклатурный справочник крупного электротехнического завода содержит десятки тысяч наименований. Поэтому даже задача выбора аналога является нетривиальной и, поскольку часть атрибутов имеет строковый тип, в общем случае решается нечетким поиском, в том числе по атрибутам, представленным лингвистическими переменными при отсутствии количественной информации между термами [7].

Несмотря на колоссальный массив разработанных вариантов, около 30 % заявок потребителей не могут быть непосредственно удовлетворены, поскольку заказчик в технических требованиях указывает новшества, не отраженные в КД. Обработка заявки вступает в фазу «анализа контракта», когда ведущие специалисты определяют направления доработки изделия, а также целесообразность таковой доработки, сопоставляя себестоимость нового изделия и цену реализации. Принципиальным является факт, что для значительной группы заявок существует общность подхода в принятии решения. Именно для этого алгоритмизируемого подмножества процедур принято решение создать прототип экспертной системы «Анализ контрак-

та», для чего анализируется и систематизируется весьма объемный архив по анализу контрактов, хранящийся в твердых копиях. В терминах экспертных систем должна быть выполнена работа, подобная той, которая была осуществлена нами при создании подсистемы «СПРУТ–ЭМ–Конструирование» [1]:

а) Следует разработать множество таксономических структур, соответствующих возможным вариантам состава изделий вплоть до уровня элементов деталей, с учетом вариантов техпроцессов. При этом решения, принятые для конкретных типоразмеров, должны распространяться на «родственные изделия».

б) Помимо таксономических отношений следует ввести сложные отношения, отражающие специфику предметной области, например: « Df принимать значение из БД и Ch принимать значение из БЗ в зависимости от значений фиксированных наборов $g_i \subset G$ ». Здесь Df – дифференциальные признаки, описывающие некоторые числовые параметры аналогов, помещенные в БД; Ch – характеристические признаки, описывающие разные конструктивные исполнения узлов и деталей параметризованных экземпляров одного класса; G – определяющие атрибуты, семантически описывающие объект на верхнем уровне.

Программирование базы знаний для экспертной системы ведется в широко известном инструменте *SprutExpro* (см. www.sprut.ru) на подмножестве естественной технической лексики.

Экранная форма *SprutExpro* с фрагментом создаваемой БЗ показана на рисунке 3.

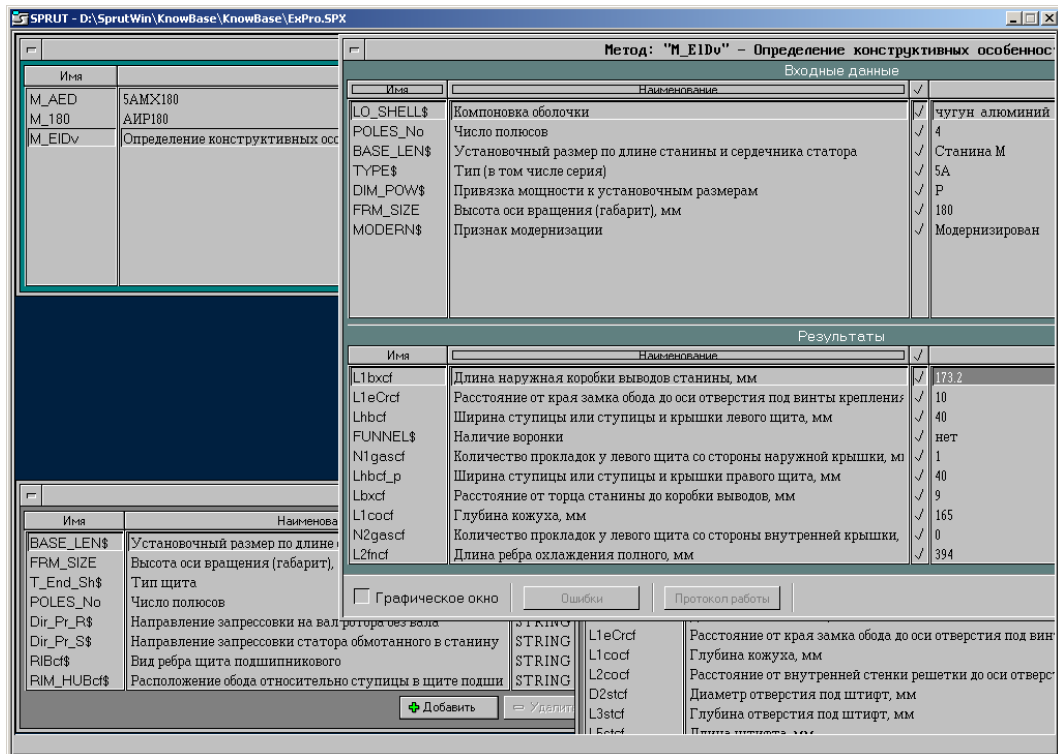


Рис. 3

Дальнейшее развитие системы предусматривает: программное обогащение внутреннего мира агентов интеллектуальной электромашиностроительной САПР [8]; адаптацию программы генетического поиска для комплексных задач оптимизации, в которых должны быть учтены технологические факторы, а также ограничения, накладываемые бизнес-процессами; выпуск рабочей версии экспертной системы анализа контракта. Об этих работах авторы надеются рассказать в следующих публикациях.

Библиографический список

1. Кобелев, А.С. Организация автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства изделий электромашиностроения на базе интегрированной среды «СПРУТ» : труды Междунар. науч.-технич. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'07) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2007) / А.С. Кобелев. – М. : Физматлит, 2007. – Т. I.
2. Емельянов, В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.М. Курейчик, В.В. Курейчик. – М. : Физматлит, 2003.
3. Шилдт, Г. Полный справочник по C# / Г. Шилдт. – М. ; СПб. ; Киев : Вильямс, 2004.
4. Кобелев, А.С. Автоматизированное проектирование низковольтных асинхронных двигателей с использованием интегрированных моделей электрических машин / А.С. Кобелев // Электричество, 2004.
5. Мочалов, В.А. Интеллектуальная система поддержки принятия инвестиционных решений на финансовых рынках : труды Междунар. науч.-технич. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'07) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2007) / В.А. Мочалов, Е.Н. Турута. – М. : Физматлит., 2007. – Т. I.
6. Голубин, А.В. Нечеткие генетические алгоритмы : труды Междунар. науч.-технич. конф. «Интеллектуальные системы» (AIS'05) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2005) / А.В. Голубин, В.Б. Тарасов. – М. : Физматлит, 2005. – Т. I.
7. Евгеньев Г.Б. Использование нечетких множеств и генетических алгоритмов в интеллектуальных машиностроительных САПР : труды Междунар. науч.-технич. конф. «Интеллектуальные системы» (IEEE AIS'04) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2004) / Г.Б. Евгеньев, А.С. Кобелев. – М. : Физматлит, 2004. – Т. II.
8. Евгеньев, Г.Б. Автоматизация структурно-параметрического синтеза проектируемых изделий в интеллектуальных машиностроительных САПР : труды Междунар. науч.-технич. конференций «Интеллектуальные системы» (AIS'05) и «Интеллектуальные САПР» (CAD-2005) / Г.Б. Евгеньев, А.С. Кобелев. – М. : Физматлит, 2005. – Т. II.

УДК 004.414.2

© Мешков В.Е., 2008

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В работе предложен эвристический алгоритм для анализа структурных и схемотехнических решений. Показано, что подобного рода алгоритмы могут применяться для анализа и оценки схемных решений без учета целостности объекта, выполняющего заданную функцию. При таком подходе не требуется учитывать специфику схемотехнической реализации устройств.

Перед рассматриваемым алгоритмом ставится задача выявления схемных (схема в общем случае структурная) ошибок как простых (например, законченные одним узлов выводы элемента), так и более сложных, требующих для выявления многошаговых вычислений и проверок различных условий. От алгоритма не требуется знать суть протекающих в схеме процессов преобразования сигналов и, следовательно, выявлять ошибки, соответствующие этому уровню представления схемы.

Таким образом, задача сводится к оценке схемы без её анализа как целостного объекта, выполняющего определённую функцию [2]. Оценить систему, не рассматривая её как целостный объект, можно только рассматривая её как совокупность составляющих систему объектов – структурных элементов – и оценивая их состояния с точки зрения корректности включения. В процессе выявления схемных ошибок должен будет формироваться отчёт по каждому виду проверок, что позволит сделать определённый вывод о работоспособности схемы и дать основания для предложения способа исправления выявленных схемных ошибок. Отчёт может быть преобразован в оценку схемы, самое низкое значение которой будет соответствовать случаю, когда проверка всех условий показала их невыполнение. Самое высокое значение – случаю, когда проверка всех условий показала их полное выполнение.

Необходимыми требованиями к алгоритму являются:

- малая ресурсоёмкость;
- возможность обнаружения ситуации повышенной вероятности ошибок алгоритма (первый род ошибок – заниженная оценка, второй род – завышенная оценка), иными словами, контроль неадекватности используемых моделей;
- расширяемость алгоритма по количеству видов проверок;
- независимость алгоритма от типа схем.

Ошибки первого рода являются более вредными, чем ошибки второго. Ошибки первого рода могут привести к потере удачных вариантов решений, (возможно навсегда, если алгоритм генерации решений не даёт повторяющиеся варианты), на получение которых были затрачены машинные

ресурсы. Ошибки второго рода могут привести к неоправданному вызову дорогостоящей программы полного анализа решений, в результате которого правильная оценка будет, в конце концов, получена.

Данный алгоритм предполагается использовать в автоматизированных системах структурного синтеза (в частности, схемотехнического синтеза) на этапе предварительной оценки вариантов решений. Данный этап следует непосредственно за этапом генерации множества вариантов решений (или единственного решения), каждое из которых с высокой степенью вероятности содержит ошибки.

Рассмотрим способы выполнения каждого из перечисленных выше требований.

Независимость алгоритма от типа схем фактически означает, что алгоритм должен представлять собой некий универсальный механизм, принципы работы которого не опираются на специфику какого-либо конкретного типа схем. Понятие структуры объединяет все виды схем. Следовательно, алгоритм должен оперировать со структурными элементами и их связями. Реализации алгоритма, вероятно, будут иметь модульную структуру, в которой центральным модулем является указанный универсальный механизм. Алгоритм может быть настроен на конкретный тип схем.

Расширяемость алгоритма по количеству видов проверок фактически означает отдельный модуль, содержащий информацию о видах проверок и способах их выполнения. Модуль предоставляет возможность добавлять, удалять и редактировать своё содержимое. Такой модуль должен иметь чётко определённый интерфейс взаимодействия с центральным модулем.

Путь достижения второго требования представляется зависимым от реализации и будет определён позднее.

Малая ресурсоёмкость является наиболее сильным требованием к алгоритму. Традиционно высокая ресурсоёмкость алгоритмов анализа является следствием следующей причины: при расчёте модели обрабатывается избыточная информация, не являющаяся необходимой для получения интересующей разработчика информации о моделируемом объекте. Иными словами, не для каждой задачи анализа имеется оптимальная модель. Другой причиной является сложность моделей, которые не могут быть упрощены из-за угрозы стать неадекватными реальному объекту.

Чтобы выполнить требование низкой ресурсоёмкости, необходимо построить модель, отражающую исключительно интересующие нас свойства объектов — структурных элементов, которые объединены связями. Модель должна отличаться вычислительной простотой. Предлагаемой основой модели структурных элементов для данной задачи являются расчётные формулы, выражения и предикаты, используемые человеком при расчёте различных параметров и условий в схеме с целью получения оценок схемы различной степени приближённости.

Набор формул, далее будем называть их для краткости просто выражениями, представляет модель элемента в данном алгоритме. Выражения имеют вид традиционных равенств с именем параметра с левой стороны и формулой – с правой. Состав выражений может соответствовать каким-либо другим моделям, либо макромоделям конкретного элемента. Среди выражений можно выделить несколько категорий:

- выражения, результатом вычисления которых является значение какого-либо параметра, используемого далее при формировании оценки схемы;
- выражение, результат вычисления которого – степень выполнения определённого правила включения элемента.

Первая категория представляет результаты промежуточных вычислений, вторая – окончательных. Принципиальным правилом составления выражений является их явная привязка к данному элементу. Это означает, что выражения не могут давать какую-либо информацию о явно указанном другом элементе схемы.

Из таких моделей элементов составляется модель анализируемой схемы, путём установления отношений между моделями элементов, являющимися прямым отображением связей между элементами в схеме. Также, как в привычном представлении схемы, определяем узлы, посредством которых элементы соединены. Таким образом, модель схемы, используемая в данном алгоритме, отражает структуру исходной схемы.

Основная идея алгоритма заключается в том, что несмотря на некоторую замкнутость модели элемента в данном алгоритме, параметры других элементов схемы всё-таки учитываются, и для каждого элемента могут быть определены его «окружающие схемные условия». Выражения для параметров других элементов записываются в виде запроса к другому элементу, непосредственно подключённому к исходному через явно указанный его вывод. Запрос содержит в себе имя запрашиваемого параметра и адрес запрашиваемого элемента. Адрес запрашиваемого элемента косвенный. Запрашиваемый элемент находится через указанный в запросе номер внешнего вывода запрашивающего элемента, его узла и вывода запрашиваемого элемента, подключённого к этому узлу. После того как найден запрашиваемый элемент, из его модели извлекается выражение для запрашиваемого параметра, вычисляется и возвращается как результат запроса в выражение исходного элемента. Совокупность значений выражений для правил включения даёт оценку корректности включения элемента в целом. Полнота оценки корректности включения каждого элемента определяется количеством выражений, внесённых в модель элемента.

Проанализируем особенности реальных схем, которые необходимо учесть при построении модели и алгоритма оценки схем.

В реальных схемах многие параметры входящих в них элементов зависят от остальных элементов схемы [1]. Расчётные формулы и выражения для одного структурного элемента содержат параметры других, связанных с первым, элементов. Учитывая эту принципиальную особенность, в модели должна быть реализована, а в алгоритме – поддержана возможность простого запроса параметров модели элемента, связанного с исходным, из выражения одного элемента схемы к другому, если зависимость параметров разных элементов схемы имеет место и отражена в расчётных формулах. С помощью специального синтаксиса в модели элемента можно выделить такой запрос. Реализация должна обеспечить механизм поиска и извлечения запрошенного параметра из модели другого элемента схемы. Причём разрешение запроса выполняется относительно запрашивающего элемента при любом способе их взаимного включения. Возможность запроса параметров от одного элемента схемы к другому является краеугольным камнем данного алгоритма.

Также необходимо реализовать в модели и поддержать в алгоритме способность учёта параллельного включения элементов при вычислении параметров эквивалентной цепи со стороны вывода одного элемента. В модели должно быть предусмотрено два варианта расчётных выражений – на случаи последовательного и параллельного включения. Реализация должна обеспечить распознавание обоих случаев и корректный выбор соответствующего варианта расчётных формул.

В реальных схемах не всегда удаётся рассчитать какой-либо параметр по различным причинам. Данная ситуация должна быть проконтролирована в алгоритме и предусмотрена в модели. Модель для преодоления такой ситуации может, например, содержать значения по умолчанию для каждого параметра. Такие значения могут быть использованы вместо параметра, который не удалось вычислить. Реализация должна такую ситуацию распознать и использовать значение по умолчанию. Другим выходом из такой ситуации является возврат результата вычисления, отмеченного как невычисленный, который может быть далее учтён.

Одной из особенностей реальных схем является тот факт, что, на самом деле, все элементы схемы влияют друг на друга. Это должно приводить к достаточно громоздким формулам и рекурсиям при попытке вычислить параметр элемента, который зависит от второго, второй – от третьего и т.д.

На практике человек эту проблему решает просто: он «видит», какие зависимости вносят несущественный вклад в значение параметра, и их не учитывает. Подобный механизм требуется и данному алгоритму. В модели, наполняемой человеком, должны быть предусмотрены некие веса каждого параметра, который входит в выражение для другого параметра. Такие веса будут использованы при сокращении числа учитываемых влияю-

щих параметров на значение вычисляемого параметра. Реализация при этом должна оценивать сложность вычисляемого выражения и вместо вычисления входящих, но слабо влияющих параметров подставлять их значения по умолчанию. Следовательно, значения по умолчанию необходимы.

Принципиальной проблемой для такого алгоритма анализа являются схемы с длительным, отличающимся специфическими свойствами, процессом вывода какой-либо подсхемы в рабочий режим. Проблемой является определение состояния, в котором должна быть схема после процесса вывода. Вероятным путём преодоления такой трудности является учет нескольких вариантов расчёта параметров. Каждый вариант предназначен для какой-то одной типичной ситуации. Но остаётся трудность идентификации типичной ситуации и выбора варианта расчёта. Другим путём является добавление к расчётным формулам языковых конструкций, которые позволят записывать вычислительные алгоритмы и с их помощью идентифицировать типичные схемные ситуации, выбрать вариант расчёта требуемых параметров. В модели должен быть определён синтаксис соответствующих языковых конструкций. К таким «проблемным» схемам относятся также схемы, в процессе нормальной своей работы существенно меняющие свои свойства, например, имеющие отключающиеся подсхемы, причём моменты отключения трудно определить.

Итак, основными механизмами, необходимыми для осуществления быстрой оценки схемы, являются:

- запросы параметров к другим элементам схемы;
- правильный расчёт параметров при параллельном включении элементов;
- обработка ситуации, когда какой-либо параметр не удаётся расчитать;
- учёт слабо влияющих факторов и использование их значений по умолчанию;
- применение языковых конструкций, позволяющих записывать вычислительные алгоритмы с ветвлением и циклами.

Обозначим основные шаги алгоритма с учётом вышеопределённых необходимых механизмов анализа:

1. Конструирование модели схемы в соответствии с исходным описанием, используя модели элементов.
2. Формирование совокупности степеней выполнения правил каждого из элементов в модели схемы.

Рассмотрим более подробно каждый шаг алгоритма.

Конструирование модели схемы сводится к добавлению в существующее представление схемы выражений для параметров и правил включения каждому элементу.

Формирование совокупности степеней выполнения правил включения сводится к последовательному вычислению выражений правил включения каждого элемента и сохранению результатов. Результат вычисления выражения правил включения лежит на отрезке $[0; 1]$ и показывает степень выполнения данного правила. Для каждого структурного элемента они индивидуальны. Множество правил даёт совокупность таких оценок для каждого элемента. Для именования параметров цепей и сигналов используется единая система. Это требование совместимости запросов параметров к другим элементам схемы. Выражения для правил включения содержат различные параметры как данного элемента, так и других элементов схемы. Параметры других элементов входят в выражение для данного элемента в форме внешних ссылок, содержащих имя параметра и косвенный адрес элемента – «владельца» параметра. На основе таких ссылок формируется запрос к другому элементу схемы. Для получения численного значения выражения требуется «раскрыть» все ссылки, то есть преобразовать ссылки в численные значения параметров, указанных в ссылке, и после вычислить значение полученной обычной уже формулы. Раскрытие ссылки (выполнение запроса) осуществляется в несколько шагов:

- поиск элемента, которому фактически адресована ссылка;
- определения типа включения найденного элемента (параллельное или последовательное);
- выбор выражения запрашиваемого параметра в соответствии с установленным типом включения;
- вычисление выбранного выражения;
- контроль невозможности вычисления выражения;
- определения слабо влияющих параметров, входящих в выражение, взятие их значений по умолчанию;
- возврат результата в исходное выражение.

Выражение может быть вычислено только тогда, когда его внешние ссылки будут раскрыты. То есть когда в конкретной схеме при раскрытии ссылки был найден элемент, которому адресована ссылка, и в модели этого элемента было найдено выражение для указанного в ссылке параметра. Если же в ссылке указано имя параметра, для которого не было определено выражение в модели запрашиваемого элемента, то такая ссылка раскрыта быть не может. Сигнал об этом возвращается в исходное выражение, для которого уже можно в качестве его численного значения использовать значение по умолчанию, либо так и оставить «невычисленным». Ещё одной ситуацией, когда ссылка не может быть раскрыта, является встреча ссылки на параметр, который вычисляется в данный момент. Такие ссылки можно назвать обратными. Действия в подобной ситуации аналогичны.

Определение слабо влияющих параметров на значение исходного выражения осуществляется с помощью учёта диапазона возможных значений параметра и определения по этому диапазону степени влияния на результат охватывающего выражения. Как только степень влияния параметра

опускается ниже некой заданной пороговой, вместо вычисления выражения параметра берётся его значение по умолчанию и возвращается в качестве результата.

В реальных схемах будут содержаться многоуровневые ссылки, при рассмотрении исходное выражение разворачивается в некое дерево, корнем которого является само исходное выражение, а ветвями – ссылки на параметры, выражения которых могут также содержать ссылки.

Результатом анализа схемы является совокупность степеней выполнения всех правил включения каждого элемента схемы, определённых в их моделях.

Эвристический алгоритм анализа.

1. Конструирование модели схемы.

2. Вычисление оценки схемы.

2.1. Для каждого выражения правила каждого элемента схемы провести вычисление значения.

2.1.1. Определение степени влияния данного параметра на исходное выражение.

2.1.2. Если степень влияния не достаточно мала, то переход к п. 2.1.

2.1.3. Переход к п. 2.1.6 со значением по умолчанию для данного параметра.

2.1.4. Раскрыть каждую ссылку.

2.1.4.1. Выделение в ссылке адресной части и части имени параметра.

2.1.4.2. Определение узла, к которому подключён адресуемый в ссылке элемент.

2.1.4.3. Определение типа включения элементов в этом узле (более двух элементов – параллельное, два – последовательное).

2.1.4.4. Поиск выражения запрошенного параметра, соответствующего типу включения в узле-соединителе.

2.1.4.5. Если выражение не найдено, переход к п. 2.1.4.10.

2.1.4.6. Если тип включения параллельный, то к п. 2.1.1.8.

2.1.4.7. Вызвать вычисление выражения для последовательного включения с п. 2.1.1 (рекурсия).

2.1.4.8. Переход к п. 2.1.4.10 (за следующей ссылкой).

2.1.4.9. Вызвать вычисление выражения для параллельного включения.

2.1.4.10. Вернуться с текущим результатом на уровень выше.

2.1.5. Вычислить выражение.

2.1.6. Вернуться со значением выражения на уровень выше.

2.2. Добавление степени выполнения текущего правила к остальной совокупности.

3. Конец алгоритма.

Таким образом, в работе был предложен эвристический алгоритм, при реализации которого задача выбора схемного решения может быть сведена к оценке схемы без её анализа как целостного объекта, выполняющего определённую функцию.

Библиографический список

1. Курейчик, В.М. Методы генетического поиска : учеб. пособие / В.М. Курейчик. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 1998. – Ч. 1. – 118 с.
2. Мешков, В.Е. Решение задачи синтеза схем с регулярной структурой как экстремальной задачи переборного типа / В.Е. Мешков // Информационные технологии в науке и образовании : сб. науч. трудов. – Шахты : ДГАС, 1998. – Вып. 28.

УДК 004.7

© Берёза А.Н., Ляшов М.В., 2008

ПОСТРОЕНИЕ АППАРАТНОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) рассматриваются не просто как программная система, а как программно-аппаратный комплекс, который включает в себя как ЭВМ, или рабочую станцию, так и устройства, являющиеся дополнениями или расширениями этих систем с целью увеличения эффективности процедур моделирования, синтеза, отладки и верификации [3]. При этом используются аппаратные ускорители для наиболее емких процедур, таких как работа с матрицами интеллектуальных и численных алгоритмов. Использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) в аппаратных ускорителях позволяет создавать гибкие вычислительные платформы с возможностью их многократного реконfigurирования.

В основе аппаратного ускорителя для САПР лежит способность к обмену данными между ПЛИС, выполненными по технологии FPGA [2]. Для связи между функциональными узлами ускорителя предназначена коммуникационная система, которая представляет собой сеть ПЛИС, связанную трактами передачи данных.

В зависимости от того, остается ли конфигурация взаимосвязей неизменной, различают сети со статической и динамической топологиями. В статических сетях структура взаимосвязей фиксирована. В сетях с динамической топологией в процессе вычислений конфигурация взаимосвязей с помощью программных средств может быть оперативно изменена [1].

Узел в сети может быть терминальным, то есть источником или приемником данных, коммутатором, пересылающим информацию с входного порта на выходной, или совмещать обе роли. В зависимости от функциональности узлов различают сети с непосредственными и косвенными связями. В сетях с непосредственными связями каждый узел одновременно является как терминальным узлом, так и коммутатором, и сообщения пересылаются между терминальными узлами напрямую. В сетях с косвен-

ными связями узел может быть либо терминальным, либо коммутатором, но не одновременно, поэтому сообщения передаются опосредованно, с помощью выделенных коммутирующих узлов. Основное преимущество сетей с непосредственными связями – коммутатор может использовать ресурсы терминальной части своего узла.

Существует две возможные стратегии синхронизации операций в сети – это синхронная и асинхронная [1]. В синхронных сетях все действия жестко согласованы по времени, что обеспечивается за счет единого генератора тактовых импульсов, сигналы которого одновременно транслируются во все узлы. В асинхронных сетях единого генератора нет, а функции синхронизации распределены по всей системе, причем в разных частях сети часто используются локальные генераторы тактовых импульсов.

В зависимости от выбранной стратегии коммутации различают сети с коммутацией соединений и сети с коммутацией пакетов. Как в первом, так и во втором варианте информация пересылается в виде пакета. Пакет представляет собой группу битов, для обозначения которой применяют также термин сообщение.

В сетях с коммутацией соединений путем соответствующей установки коммутирующих элементов сети формируется тракт от узла-источника до узла-получателя, сохраняющийся до тех пор, пока весь доставляемый пакет не достигнет пункта назначения. Пересылка сообщений между определенной парой узлов производится всегда по одному и тому же маршруту.

Сети с коммутацией пакетов предполагают, что сообщение самостоятельно находит свой путь к месту назначения. В отличие от сетей с коммутацией соединений, маршрут от исходного пункта к пункту назначения каждый раз может быть иным. Пакет последовательно проходит через узлы сети. Очередной узел запоминает принятый пакет в своем буфере временного хранения, анализирует его и делает выводы, что с ним делать дальше. В зависимости от загруженности сети принимается решение о возможности немедленной пересылки пакета к следующему узлу и о дальнейшем маршруте следования пакета на пути к цели. Если все возможные тракты для перемещения пакета к очередному узлу заняты, в буфере узла формируется очередь пакетов, которая уменьшается по мере освобождения линии связи между узлами.

Сети межсоединений можно также классифицировать по тому, как в них организовано управление [1]. В некоторых сетях, особенно с переключением соединений, принято централизованное управление. Узлы посылают запрос на обслуживание в единый контроллер сети, который производит арбитраж запросов с учетом заданных приоритетов и устанавливает нужный маршрут. К данному типу следует отнести сети с шинной тополо-

гией. Процессорные матрицы также строятся как сети с централизованным управлением, которое осуществляется сигналами от центрального процессора. В схемах с децентрализованным управлением функции управления распределены по узлам сети.

Вариант с централизацией проще реализуется, но расширение сети в этом случае связано со значительными трудностями. Децентрализованные сети в плане подключения дополнительных узлов значительно гибче, однако взаимодействие узлов в таких сетях существенно сложнее.

В ряде сетей связь между узлами обеспечивается посредством множества коммутаторов, но существуют также сети с одним коммутатором. Наличие большого числа коммутаторов ведет к увеличению времени передачи сообщения, но позволяет использовать простые переключающие элементы. Подобные сети обычно строятся как многоступенчатые.

На рисунке 1 приведена классификация сетей межсоединений по видам топологии.

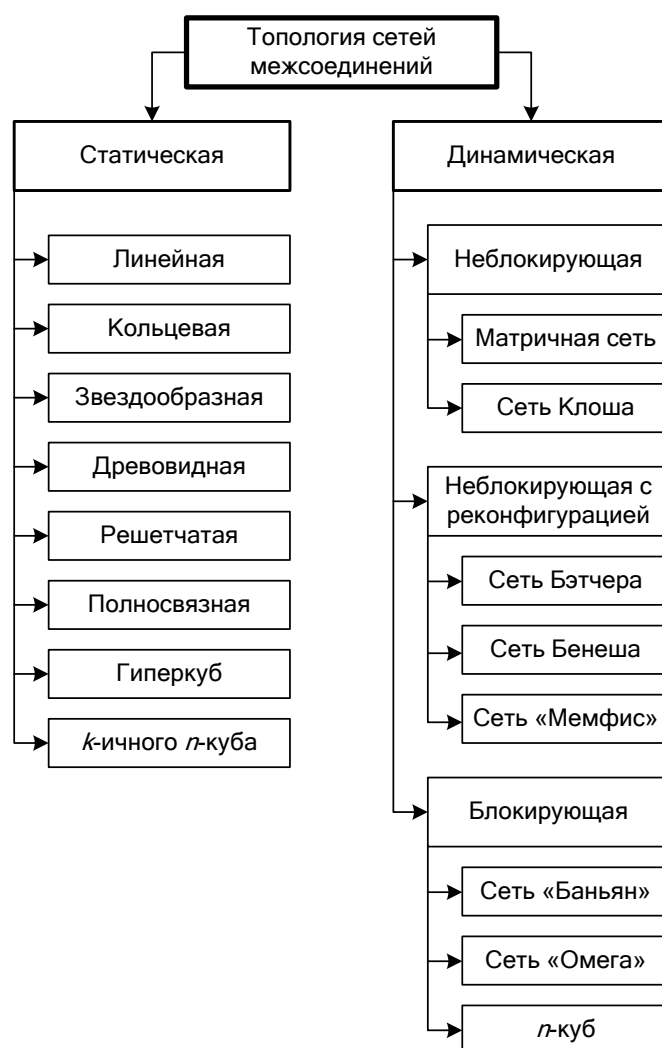


Рис. 1. Классификация сетей межсоединений по видам топологии

К статическим топологиям относят такие, где между двумя узлами возможен только один прямой фиксированный путь, то есть статические топологии не предполагают наличия в сети коммутирующих устройств. Если же такие устройства имеются, то используются они только перед выполнением конкретной задачи, а в процессе всего времени вычислений топология сети остается неизменной.

В динамической топологии сети соединение узлов обеспечивается электронными ключами, варьируя установки которых, можно менять топологию сети. В узлах динамических сетей располагаются коммутирующие элементы, а устройства, обменивающиеся сообщениями (терминалы), подключаются к входам и выходам этой сети.

Если входы и выходы сети коммутирующих элементов разделены, то сеть называют двусторонней. При совмещенных входах и выходах сеть является односторонней.

Обычно ключи в динамических сетях группируются в так называемые ступени коммутации. В зависимости от того, сколько ступеней коммутации содержит сеть, она может быть одноступенчатой или многоступенчатой. Наличие более чем одной ступени коммутации позволяет обеспечить множественность путей между любыми парами входов и выходов.

Минимальным требованием к сети с коммутацией является поддержка соединения любого входа с любым выходом. Для этого в сети с n входами и n выходами система ключей обязана предоставить $n!$ вариантов коммутации входов и выходов. Проблема усложняется, когда сеть должна обеспечивать одновременную передачу данных между многими парами терминальных узлов, причем так, чтобы не возникали конфликты (блокировки) из-за передачи данных через одни и те же коммутирующие элементы в одно и то же время. Подобные топологии должны поддерживать n^n перестановок. С этих позиций все топологии сетей с коммутацией разделяются на три типа:

- неблокирующие,
- неблокирующие с реконфигурацией,
- блокирующие.

В неблокирующих сетях обеспечивается соединение между любыми парами входных и выходных терминалов без перенастройки коммутирующих элементов сети. В рамках этой группы различают сети строго неблокирующие и неблокирующие в широком смысле. В строго неблокирующих сетях возникновение блокировок принципиально невозможно в силу примененной топологии. К таким относятся матричная сеть и сеть Клоша. Неблокирующими в широком смысле называют топологии, в которых конфликт при любых соединениях не возникает только при соблюдении определенного алгоритма маршрутизации.

В неблокирующих сетях с реконфигурацией также возможна реализация соединения между произвольными входными и выходными терминалами, но для этого необходимо изменить настройку коммутаторов сети и маршрут связи между соединенными терминалами. Примерами таких сетей служат сети Бенеша Бэтчера, «Мемфис».

В блокирующих сетях, если какое-либо соединение уже установлено, это может стать причиной невозможности установления других соединений. К блокирующим относятся сети «Баньян», «Омега», n -куб и др.

На основе приведенного анализа топологий сетей предлагается структура сети с централизованным управлением для аппаратного ускорителя на ПЛИС. Структура такой сети представлена на рисунке 2.

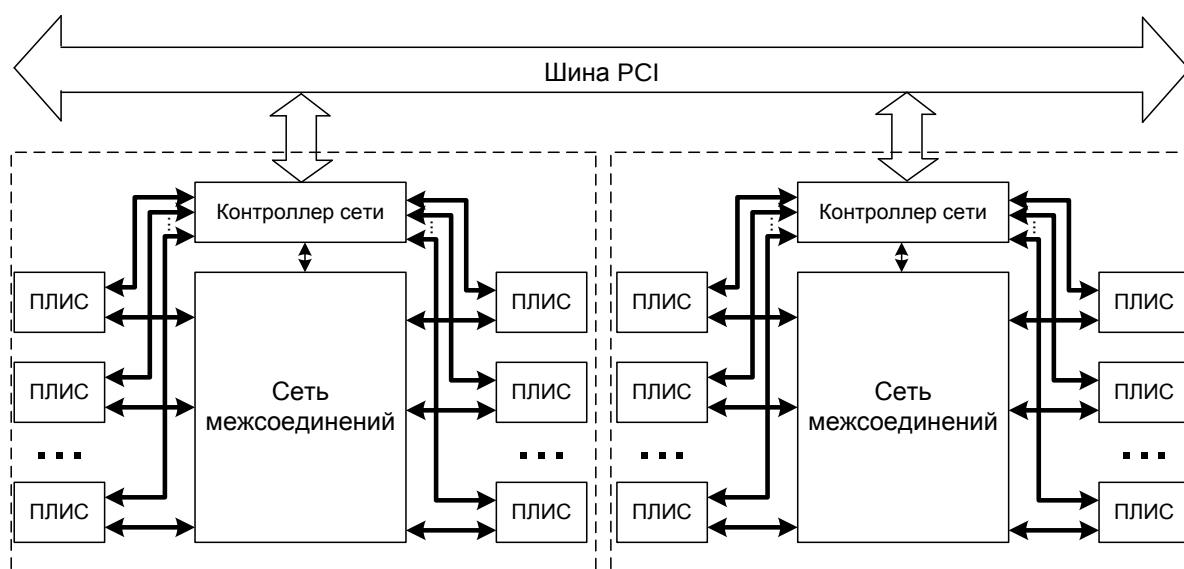


Рис. 2. Структура сети с централизованным управлением

ПЛИС посылают запрос на обслуживание в единый контроллер сети, который производит арбитраж запросов с учетом заданных приоритетов и устанавливает нужный маршрут. В качестве сети межсоединений выступает ПЛИС. Это позволит реализовать любую из топологий межсоединений. Аппаратные ускорители можно также объединить в сеть посредством шины PCI.

В заключение следует отметить, что все виды из рассмотренных в работе топологий сетей межсоединений могут быть реализованы на ускорителе. Поэтому построение структуры аппаратного ускорителя для решения некоторого набора задач не является тривиальной, т.к. задачи имеют различную вычислительную природу. Если говорить об одной из основных тенденций развития современных САПР, то это, как правило, внедрение

бионических методов. В состав программного и аппаратного обеспечения внедряются такие парадигмы, как нейронные сети, генетические алгоритмы, которые могут быть реализованы в виде аппаратного ускорителя.

Библиографический список

1. Цилькер, Б.Я. Организация ЭВМ : учебник для вузов / Б.Я. Цилькер, С.А. Орлов. – СПб. : Питер, 2004. – 668 с. : ил.
2. Стешенко, В.Б. ПЛИС фирмы «Altera»: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры / В.Б. Стешенко. – М. : Додэка-XXI, 2002. – 576 с.
3. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов / И.П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с. : ил.
4. Бойко, В.И. Схемотехника электронных систем. Микропроцессоры и микроконтроллеры / В.И. Бойко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 464 с. : ил.
5. Галушкин, А.И. Теория нейронных сетей : учеб. пособие для вузов. Кн. 1 / под общ. ред. А.И. Галушкина. – М. : ИПРЖР, 2000. – 416 с. : ил. – (Нейрокомпьютеры и их применение).

РАЗДЕЛ 5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.421.6

© Мешкова Е.В., 2008

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТА

Представленная в данной статье модель нейронной сети является попыткой найти гибридную архитектуру, в которой можно компенсировать недостатки семантической и ассоциативной нейронной сетевых парадигм для решения задачи автоматической классификации текста [1]. Приводится методика создания гибридной нейросетевой модели, позволяющая классифицировать текст на основе определения смысла заложенной в текст терминологии и выделения неявных ассоциаций. Представляются основные параметры работы сети, сделан и обоснован выбор пороговой активационной функции. Предлагается принцип преобразования гибридной сети в аналогичную ассоциативную нейронную сеть. Приведен пример работы сети на начальном этапе. В конце статьи даны общие оценки и рекомендации по представленному материалу.

Исходя из сравнительного анализа семантических и нейронных сетей [2], предложена модель, позволяющая взаимно компенсировать недостатки обоих подходов.

Предложенная модель нейронной сети состоит из трех слоев, которые выстроены иерархически, обобщая первоначальные единицы текста (слова) в понятия и затем в области знаний.

Первый слой содержит нейроны, которым присваиваются значения слов (в дальнейшем – *слова*). Нейроны-слова связываются между собой на основе словарных определений *понятий*, в которые входят и имеют прямые связи с соответствующими нейронами-понятиями второго слоя. Каждому *понятию* соответствует ряд нейронов-слов первого слоя.

Второй слой включает в себя нейроны как *понятия*, связанные с нейронами-словами первого слоя, которые входят в его определение, и с нейронами *областей знаний* (третий слой). Нейроны-понятия принадлежат различным *областям знаний*.

Третий слой составляют нейроны как *области знаний*. За каждой *областью знаний* закреплены соответствующие им *понятия*, которые могут принадлежать одновременно нескольким *областям знаний*. Третий слой является выходным и показывает, к какой области знания относится текст. В качестве классификатора можно, например, использовать универсальную десятичную классификацию (УДК).

Таким образом, каждый нейрон сети соответствует слову, понятию, области знаний. Закрепление за нейроном конкретного значения (слова, понятия, области определения) осуществляется посредством присвоения порядкового номера каждому нейрону, которому соответствует закрепленное за ним слово, понятие, область определения, находящееся под таким же номером в библиотеке. Для каждого слоя создается библиотека.

Библиотека первого слоя включает в себя *слова*, за которыми закреплены нейроны, а также наименования всех *понятий* и *областей знаний* (ссылающиеся на соответствующие им *понятия* и *области знаний* во втором и третьем слоях). Это обусловлено тем, что слова, содержащиеся в тексте, проверяются на наличие в библиотеке первого слоя и подаются на вход.

Библиотеки второго и третьего слоя содержат, соответственно, *понятия* и *области знания*, за которыми закреплены нейроны.

Закрепление отношений между нейронами внутри слоя и нейронами верхнего, по отношению к взятому, слоя реализуется с помощью матриц смежности, а присвоение номера может осуществляться с помощью функций хеширования, создания упорядоченного списка и т.д.

Содержанию слоев сети соответствуют библиотеки, нейроны связаны между собой как внутри слоя, так и с нейронами верхнего, по отношению к взятому, слоя.

Построенная сеть представляет собой гибрид семантической и ассоциативной нейронной сети. Как известно, семантическая сеть – множество понятий (слов и словосочетаний), связанных между собой. Для каждого нейрона сети сформирован набор смысловых связей и заранее установлены семантические отношения, отраженные в матрицах смежности, приведенных ниже. В данной модели применены семантические сети на начальном этапе обучения ассоциативной нейронной сети [3], так как связь между нейронами устанавливается исходя из их принадлежности одному определению, понятию и области знаний.

Если структура и принцип построения сети являются семантическими, то способ передачи сигнала нейронами аналогичен ассоциативной нейронной сети [4]. Выходной сигнал нейрона представляет собой сумму произведений весовых коэффициентов синапсов на соответствующие им сигналы, преобразованную активационной функцией. Каждый i -й синапс j -го нейрона умножается на соответствующий ему весовой коэффициент, который отражает значимость данной связи.

Нейрон первого слоя построенной сети (на начальном этапе) имеет количество входов, равное количеству установленных связей. Весовой коэффициент каждого синапса отражен в матрице весовых коэффициентов. Нейрон может как принимать сигнал, так и передавать его.

Предложенная гибридная модель сети может быть представлена в виде графа, вершинами которого являются нейроны, а ребрами – установленные между ними связи, причем в виде графа представима как вся сеть, так и отдельный слой. Следовательно, связи между нейронами как внутри одного слоя, так и между нейронами разных слоев могут быть описаны матрицами смежности.

Связи между нейронами первого слоя отражены квадратной матрицей V_1 размерности $n \times n$, где n – количество нейронов первого слоя, элемент которой v_{ij} характеризует связь i -го нейрона с j -м нейроном.

Наличие связи между нейронами считается установленным, если $v_{ij} = 1$.

Отношения между нейронами-словами первого слоя и нейронами-понятиями второго слоя представлены матрицей смежности V_{12} размерности $n \times m$, где n – количество нейронов первого слоя, а m – количество нейронов второго слоя. Элемент матрицы V_{12} v'_{ij} характеризует связь i -го нейрона-слова с j -м нейроном-понятием.

Наличие связи между нейронами считается установленным, если $v'_{ij} = 1$.

Следует отметить, что нейроны-понятия на начальном этапе не связаны между собой, поэтому матрица V_2 не рассматривается. Отношения нейронов-понятий (второй слой) и нейронов-областей знаний (третий слой) представлены в матрице V_{23} .

Элемент матрицы V_{23} , размерности $m \times l$, где m – количество нейронов второго слоя, а l – количество нейронов третьего слоя, v''_{ij} характеризует связь i -го нейрона-понятия с j -м нейроном-областью знаний.

Наличие связи между нейронами считается установленным, если $v''_{ij} = 1$.

Матрицы смежности могут быть скорректированы на основе нечетких множеств, так как одни и те же нейроны слов и понятий принадлежат одновременно разным определениям и областям знаний.

Далее на основании матриц смежности создаются матрицы весовых коэффициентов для каждого слоя, отражающие значения синапсов нейронов. Синапсы (умножители) осуществляют связь между нейронами, умножая входной сигнал на число, характеризующее силу связи (вес синапса). На начальный момент для создаваемой модели входы и выходы равносильны, т.е. нейрон может как принимать, так и передавать сигнал по своим связям. Каждой связи нейрона соответствует синапс, варианты установления синапсов могут быть различными (1, 2):

Вес синапса назначается произвольно (например, экспертом) в заданном интервале:

$$0 < w_{ij} < I, \quad (1)$$

где w_{ij} – вес j -го синапса i -го нейрона; I – произвольно заданный интервал. Интервал также задается экспертом и может быть сопоставимым с весом связи.

Сумма всех весовых коэффициентов для каждого нейрона равна одному и тому же числу (произвольно заданному J).

$$W_i = J / n, \quad (2)$$

где J – произвольно заданное число; n – количество связей нейрона.

В данном случае наиболее часто встречающиеся слова получают меньшее значение, так как с большой вероятностью являются стоп-словами. Подобный подход индексирования по частоте часто используется в статистических методах распознавания и классификации текста.

Весовые коэффициенты представлены в матрице весовых коэффициентов W_1 (размерности $n \times n$, где n – количество нейронов первого слоя), элемент которой w_{1ij} характеризует вес i -го синапса j -го нейрона, где i – номер нейрона, j – номер входа данного нейрона. Элемент матрицы w_{1ij} отражает силу связи i -го нейрона с j -м нейроном.

Пример: понятию «изотоп (14')» ставится в соответствие *определение*: «Нуклиды (9) с одинаковым (10) числом (11) протонов (12)», где каждое слово имеет порядковый номер.

$$W_1 = \begin{array}{c|cccc} & 1 & 2 & 3 & \dots & n \\ \hline 1 & & & & & \\ 2 & 0.67 & & 0.78 & & \\ 3 & 0.59 & 0.81 & & & \\ \vdots & & & & & \\ N & & & & & \end{array}$$

Рис. 7. Матрица весовых коэффициентов W_1

Как уже было отмечено, одно и то же слово может входить в определения различных понятий.

Начальное возбуждение x , подаваемое на вход сети, принимается за единицу, далее сигнал передается с помощью активационной функции, аналогично передаче сигнала в нейронных сетях.

Сумматор сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов и внешних входных сигналов, преобразуется пороговой активационной функцией.

Выбор пороговой активационной функции обусловлен тем, что на третьем этапе создания сети легко сохранить уже установленные на втором этапе устойчивые связи и в то же время, используя пороговую функцию, породить новые ассоциации. Это возможно, поскольку на начальном периоде обучения слова-определения, связанные между собой и входящие в определение одного понятия, заиклены друг на друга и посылают возбуждения соответствующему понятию благодаря не столько подстройке коэффициентов, сколько пороговой функции и самой структуре сети. По-

этому на втором этапе коэффициент a , влияющий на чувствительность функции, может быть небольшим, делая функцию более полой. На третьем этапе, когда осуществляется генерация новых весовых коэффициентов, изменяется коэффициент a . Повышается чувствительность сети к более слабым сигналам.

Возбуждение передается по установленным связям, причем на него влияют активационная функция, определяющая выходной сигнал, и весовой коэффициент связи. Сеть построена так, что на начальном этапе весовые коэффициенты минимально влияют на передачу сигнала от нейрона-слова к нейрону-слову и от нейронов-слов к нейрону-понятию.

На работу сети влияют также такие параметры, как пороговое значение, при котором нейрон передает возбуждение, количество тактов передачи возбуждения, значение перехода и стабилизации сигнала. В разработанной автором модели данные параметры могут изменяться в процессе работы сети.

Таким образом, структура первого слоя сети может быть задана набором:

$$\langle A, V_1, W_1, V_{12} \rangle,$$

где A – множество нейронов слоя, $a_i \in A$; V_1 – матрица смежности нейронов первого слоя; W_1 – матрица весовых коэффициентов; V_{12} – матрица смежности нейронов первого слоя и нейронов второго слоя.

Структура второго слоя задается набором:

$$\langle B, V_2, W_2, V_{23} \rangle,$$

где B – множество нейронов слоя, $b_i \in B$; V_2 – матрица смежности нейронов второго слоя, причем на первом этапе V_2 – нулевая матрица; W_2 – матрица весовых коэффициентов, нулевая на первом этапе; V_{23} – матрица смежности нейронов второго слоя и нейронов третьего слоя.

Структура третьего слоя задается набором:

$$\langle C, K_i, V_2, W_2, V_{23} \rangle,$$

где C – множество нейронов слоя, $c_i \in C$; K_i – подмножество C , соответствующее конкретной области знаний ($i = 1 \dots n$, где n – количество областей знаний), такое, что $\forall K_i \subset C$, и $K_i \cap K_j = \emptyset$.

Приведем пример расчета передачи сигнала для первого слоя гибридной модели.

Выбрана активационная пороговая функция, где путем подбора установлено значение параметра $a = 2$.

Понятию «изотоп» ставится в соответствие определение: «Нуклиды (9) с одинаковым (10) числом (11) протонов (12)», где каждое слово пронумеровано, и еще несколько понятий.

Понятию «кварки» – определение: «фундаментальные (4) частицы (2) материи (5), из которых состоят (6) протоны (12) и нейтроны (13)».

Данный пример отражен, соответственно, в матрице смежности V_1 и матрице весов W_1 .

Предположим, на вход пришло одно из слов-определений – «нуклид» (9). Начальное возбуждение =1. Нейрон 9 передает свое возбуждение связанным с ним нейронам 10, 11, 12.

На первом такте нейрон 10 передает полученное возбуждение на 11 и 12. Полученное возбуждение умножается на вес синапса и суммируется:

$$w_1 = 0,7, w_2 = 0,5, w_3 = 0,6;$$

$$x_1 = 1 \quad x_2 = 0 \quad x_3 = 0$$

$$s = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 = 0,7$$

после преобразуется активационной функцией (выходной сигнал равен 0,69), и идет на выход.

Аналогично с нейронами 11, 12, которые также получили первоначальный сигнал от нейрона 9 и передают возбуждение связанным с ними нейронам. Нейрон 11 (весовые коэффициенты $w_1 = 0,4$ $w_2 = 0,53$ $w_3 = 0,2$, сигнал от $x_1 = 1$) Выходной сигнал равен 0,67.

Выходной сигнал нейрона 12 равен 0,73.

Задается пороговая величина D , при значении выходного сигнала $f(s) > D$ сигнал не передается. В данном примере $D = 0,5$.

На втором такте нейроны 10, 11 и 12 передают возбуждение друг другу, помимо этого нейрон 12 передал возбуждение не связанным с другими нейронам 2, 4, 5.

Уже на 3-м такте получается заикливание связанных между собой нейронов друг на друга, в случае такого заикливания возбуждение передается в слой 2 «понятий». Помимо этого нейрон 12 на такте 1 передал сигнал связанным с ним нейронам 2, 4, 5.

При дальнейших расчетах видно, что активационная функция сильно увеличивает даже небольшой сигнал, поэтому на втором этапе обучения сети ее параметры будут скорректированы, так как возникнет необходимость большего влияния со стороны весовых коэффициентов для сохранения установленных на этапе 1 связей.

Если необходимо получить больше «родственных» понятий, принадлежащих к этой же области знаний, можно увеличить количество тактов.

Таким образом, на 1-м этапе обучения/функционирования сети выявляется количество в тексте специализированных терминов, порождающих заикливание слов-определений и вызывающих обращение к слою понятий, а далее – к слою областей знаний или тематических разделов.

Для избежания искажений из-за слишком большой значимости «служебных» слов: глаголов, причастий, слов, не являющихся самостоятельными терминами, используется вариант II назначения весовых коэффициентов.

Нужно отметить, что модель может использоваться практически для всех областей, в которых существует четкая, сложившаяся терминология, и для смежных областей знаний. Преимуществом данной модели является также то, что она является не только классификатором, но и, в некоторой степени, системой, выделяющей знания, или ключевые темы, исходя из заложенной в текст терминологии. Эта же черта, а также способность к выделению неявных ассоциаций, отличает ее от классических статистических методов, частично использованных в модели. Отметим также, что предложенная модель позволяет значительно упростить сложный и трудоемкий процесс обучения нейронной сети.

Разработанная методика создания гибридной нейросетевой модели позволяет классифицировать текст на основе определения смысла заложенной в текст терминологии и выделения неявных ассоциаций. Разработан алгоритм построения и функционирования гибридной нейросетевой модели, структура сети и ключевые параметры сети. Предложен принцип преобразования гибридной сети в нейронную сеть с сохранением установленных семантических связей.

Библиографический список

1. Мешкова, Е.В. Построение гибридной модели на основе семантической и ассоциативной сетевых парадигм / Е.В. Мешкова // Анализ и синтез как методы научного познания : материалы Междунар. науч. конф. – Таганрог : ТРТУ, 2004.
2. Мешкова, Е.В. Автоматическая классификация текстов на основе ассоциативных нейронных сетей / Е.В. Мешкова, В.Е. Мешков // материалы Междунар. науч.-практич. конф. «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании» «ИНФОТЕХ – 2002» 30 сентября–5 октября 2002 г., Севастополь.
3. Мешкова, Е.В. Применение семантических сетей на начальном этапе обучения ассоциативных нейронных сетей / Е.В. Мешкова, В.Е. Мешков // Анализ и синтез как методы научного познания : материалы Междунар. науч. конф. – Таганрог : ТРТУ, 2004. – Ч. 3. – 76 с.
4. Круглов, В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с. : ил.

РАЗДЕЛ 6

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ

УДК 621.375.1

© Прокопенко Н.Н., Никуличев Н.Н., 2007

ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ КОММУТАТОРОВ ТОКА ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ КОРРЕКЦИИ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Активные нагрузки (АН) на основе повторителей тока [2, 3, 4] находят широкое применение в различных узлах аналоговых электронных устройств. В настоящей работе предлагается использовать АН в несколько нетрадиционном включении – в качестве управляемых коммутаторов тока [7]. На основе таких коммутаторов возможно построение новых подклассов аналоговых электронных устройств (АЭУ) – дифференциальных усилителей и стабилизаторов напряжения с нелинейной коррекцией S-класса [4], усилителей мощности (УМ) с нелинейными обратными связями, эмиттерных повторителей на основе S-коммутаторов тока. При этом АН выступают в роли самовыключающихся коммутаторов (S-коммутаторов), состояние которых (включено-выключено) зависит от величины протекающего через них тока.

Схемотехнические решения с нелинейными корректирующими цепями на основе самовыключающихся S-коммутаторов тока позволяют улучшить основные качественные показатели АЭУ (защита входных транзисторов от пробоя при больших уровнях входного дифференциального напряжения, защита выходных транзисторов от короткого замыкания в нагрузке, повышение линейности амплитудной характеристики в области малых входных сигналов, улучшение параметров переходного процесса в области средних амплитуд входных импульсных сигналов, минимизация дрейфа э.д.с. смещения нуля и др.) [4, 5].

На рисунке 1 показан пример использования S-коммутаторов тока для нелинейной коррекции операционного усилителя (ОУ) А1 в схеме компенсационного стабилизатора напряжения. S-коммутатор, реализованный на повторителе тока ПТ1, позволяет осуществить контроль выходной токовой координаты состояния подсхемы А1. При выполнении условия $I_{01} > I_{A1гр}/N$ (где N – отношение площадей транзисторов VT1 и VT2) коммутатор (ПТ1) находится в замкнутом состоянии (VT1 находится в режиме насыщения), соединяя через небольшое остаточное сопротивление выход

А1 с нагрузкой, при этом транзистор VT3 закрыт и практически не влияет на работу схемы. Как только ОУ А1 «исчерпает» свои возможности по наращиванию тока в нагрузке и его выходной ток достигнет некоторого порогового значения $I_{A1гр}$, превышающее I_{01} , S-коммутатор размыкается, это приводит к открыванию мощного транзистора VT3, который и обеспечивает дальнейшее приращение тока в нагрузке.

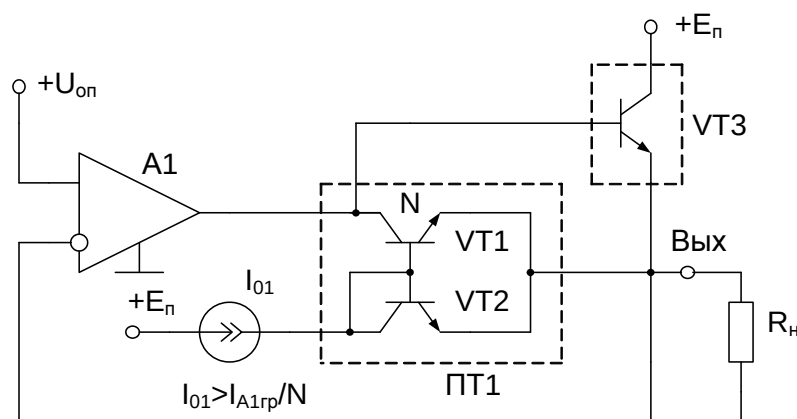


Рис. 1. Стабилизатор напряжения с S-коммутатором тока

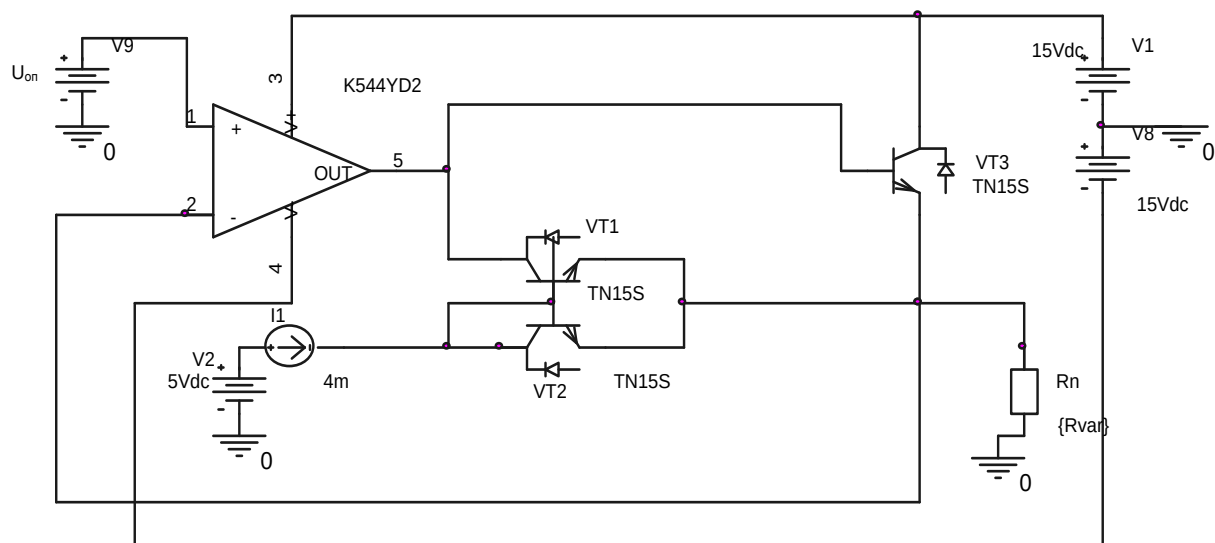


Рис. 2. Принципиальная схема стабилизатора (рис. 1) в среде PSpice

На рисунке 2 приведена принципиальная схема стабилизатора напряжения с S-коммутатором тока (рис. 1) в среде компьютерного моделирования электронных устройств PSpice, а на рисунках 3, 4 – результаты моделирования её работы. Из анализа графика рисунка 3 можно сделать вывод, что при некотором токе нагрузки $I_n \geq I_{01}$, соответствующем $*R_n$, происходит размыкание коммутатора (ПТ1). При этом ограничивается ток эмиттера $I_{эVT1}$ транзистора VT1 (транзистор входит в активный режим) (рис. 1) на уровне I_{01} , открывается транзистор VT3, что приводит к появлению его эмиттерного тока $I_{эVT3}$ (рис. 3).

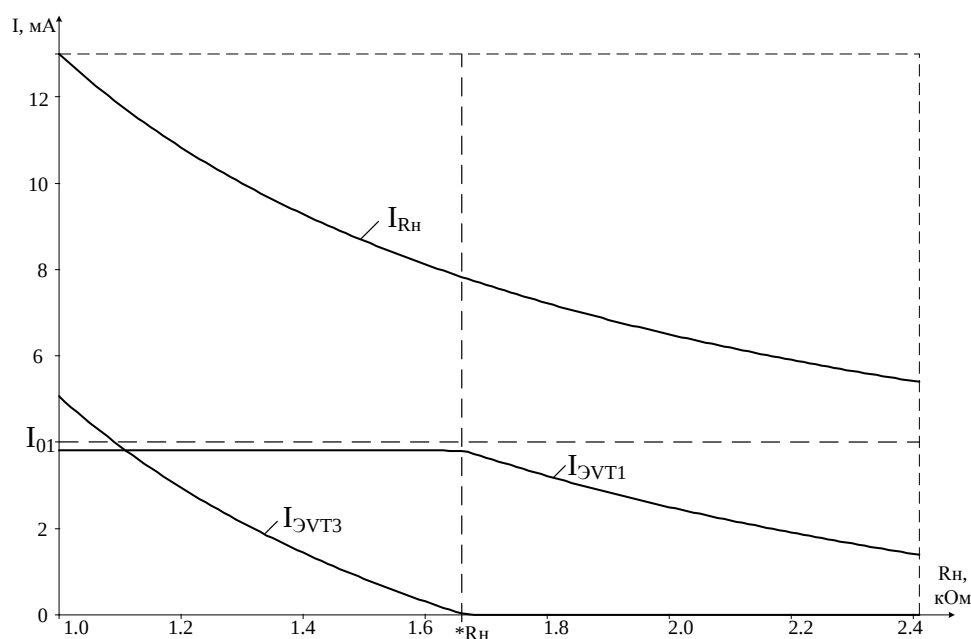


Рис. 3. Изменение токов основных элементов стабилизатора (рис. 1)

На рисунке 4 показано изменение напряжения $U_{кэ}$ выходного транзистора VT2 коммутатора тока ПТ1 при изменении сопротивления нагрузки R_n . При некотором значении сопротивления нагрузки $*R_n$ происходит «переключение» коммутатора и напряжение $U_{кэ}$ выходного транзистора VT1 изменяется от уровня остаточного значения 35 мВ до уровня порога открывания транзистора VT3 0,65 В.

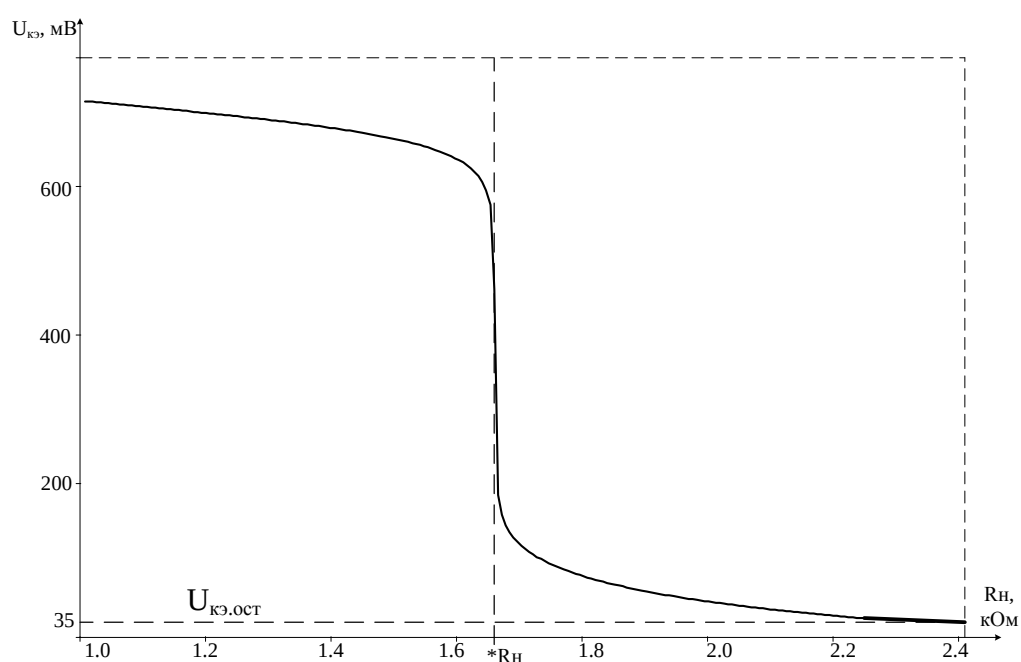


Рис. 4. Изменение напряжения $U_{кэ}$ выходного транзистора VT1 коммутатора тока в стабилизаторе напряжения (рис. 1)

Аналогичные функции выполняет коммутатор тока ПТ1 в схеме (рис. 5) с применением интегрального стабилизатора напряжения СН. Но данный стабилизатор имеет более низкий КПД, т.к. имеет дополнительную токопотребляющую ветвь I_1 .

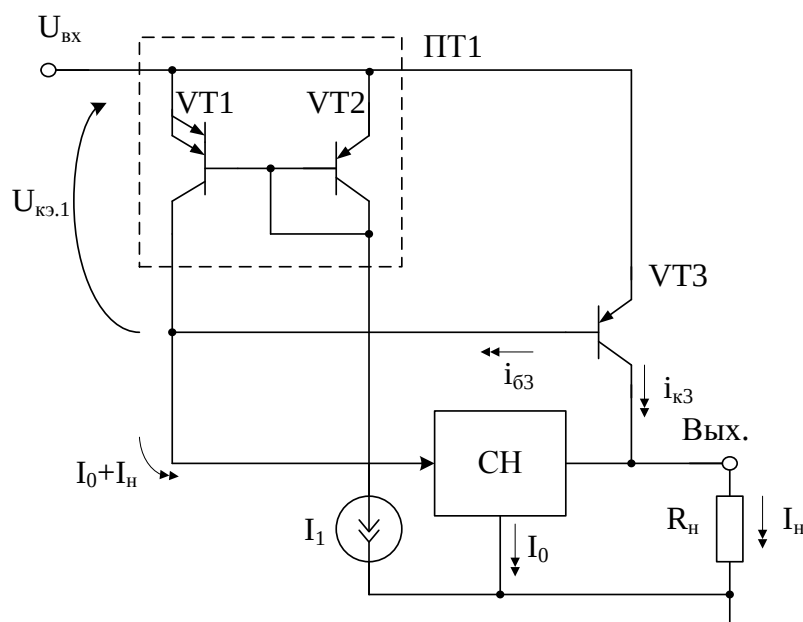


Рис. 5. Нелинейная коррекция интегрального стабилизатора напряжения СН

В схеме рисунка 6 коммутатор ПТ1 выполняет функции защиты, отключая интегральный стабилизатор напряжения от источника питания $U_{ВХ}$ при достижении тока нагрузки некоторого заданного порогового значения.

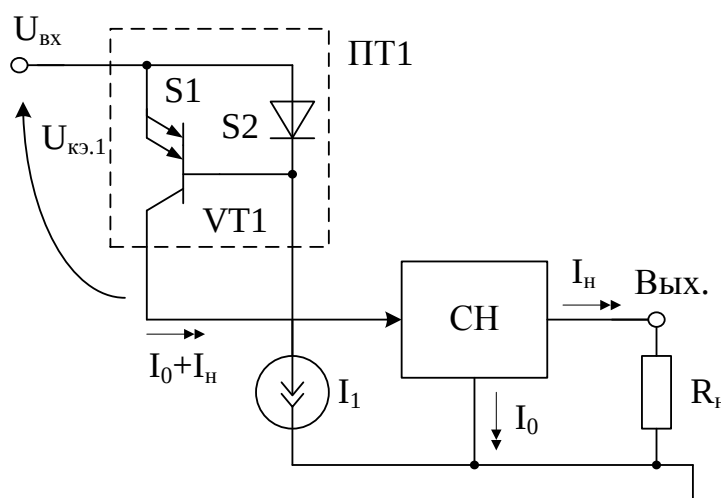


Рис. 6. Защита интегрального стабилизатора напряжения

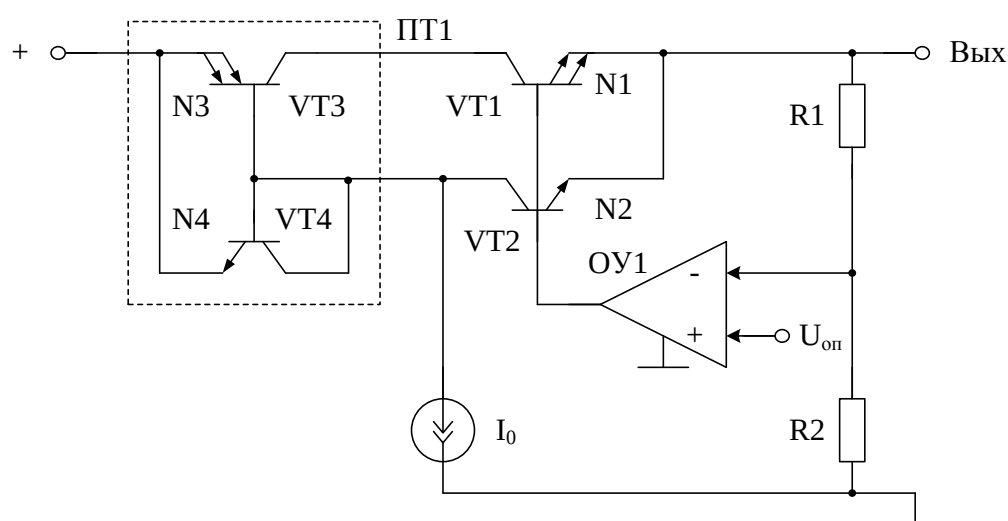


Рис. 7. Стабилизатор напряжения с защитой по току нагрузки

На рисунке 7 приведён пример построения стабилизатора напряжения с защитой по току нагрузки. В данной схеме S-коммутатор ПТ1 отключает стабилизатор от источника питания, если по каким-то причинам произойдёт увеличение тока нагрузки до заданного порогового значения, определяемого током I_0 и отношением площадей транзисторов VT3, VT4 коммутатора ПТ1.

Библиографический список

1. Волгин, Л.И. Аналоговые операционные преобразователи для измерительных приборов и систем / Л.И. Волгин. – М., 1983. – 208 с.
2. Крутчинский, С.Г. Структурный синтез аналоговых электронных схем / С.Г. Крутчинский. – Ростов н/Д. : Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 183 с.
3. Операционные усилители с непосредственной связью каскадов / В.И. Анисимов, М.В. Капитонов, Н.Н. Прокопенко, Ю.М. Соколов. – Л., 1979. – 148 с.
4. Прокопенко, Н.Н. Нелинейная активная коррекция в прецизионных аналоговых микросхемах : монография / Н.Н. Прокопенко. – Ростов н/Д. : Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 224 с.
5. Никуличев, Н.Н. Схемотехнические способы повышения быстродействия операционных преобразователей аналоговых сигналов в нелинейных режимах : дис. ... канд. техн. наук / Н.Н. Никуличев. – Таганрог, 2002. – 167 с.
6. Прокопенко, Н.Н. Нетрадиционное применение повторителей тока в аналоговой микросхемотехнике / Н.Н. Прокопенко, Н.Н. Никуличев // Электронный журнал МФТИ «Исследовано в России», 2001. – <http://zhurnal.mipt.rssi.ru/articles/2001/036.pdf> .

7. Прокопенко, Н.Н. Схемотехника S-коммутаторов тока и дифференциальных усилителей на их основе / Н.Н. Прокопенко, Н.Н. Никуличев // Электронный журнал МФТИ «Исследовано в России», 2001. – <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/017.pdf> .
8. Прокопенко, Н.Н. Статические характеристики дифференциальных усилителей с нелинейными корректирующими цепями SU-класса : сб. материалов Междунар. науч.-практич. семинара «Проблемы современной аналоговой микросхемотехники» / Н.Н.Прокопенко, Н.Н. Никуличев. – Шахты : Изд-во ЮРГУЭС, 2001. – С. 167–170.

УДК 004:633

© Ким И.А., Ким А.И., 2008

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА С НИЗКОНАПОРНЫМИ ДОЖДЕВАЛЬНЫМИ МАШИНАМИ КРУГОВОГО ДЕЙСТВИЯ С ГИДРОПРИВОДАМИ «ФРЕГАТ»

Проведен анализ современного состояния в России оросительных систем с дождевальными машинами, описаны принципы и предложены устройства автоматизации их работы.

В процессе развития агрономической науки были открыты основные законы земледелия:

- 1) Закон равнозначности и незаменимости факторов жизни растений.
- 2) Закон минимума (минимума, оптимума, максимума).
- 3) Закон совокупного действия факторов жизни растений.
- 4) Закон возврата.
- 5) Закон убывающего плодородия почвы.

Согласно этим законам сохранение и повышение плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур возможно только при точном контроле и комплексном регулировании в оптимальных пределах всех факторов жизни растений и почвенной флоры и фауны, жизнедеятельность которой повышает плодородие почвы.

Решение этой задачи, вследствие очень большой сложности объекта управления, не имеет простого решения и требует больших затрат по созданию и внедрению экологически безопасных, ресурсосберегающих, повышающих плодородие почв и урожайности сельскохозяйственных культур систем и технологий земледелия [1].

Еще более сложным данный объект управления становится в зонах орошаемого земледелия, где успешное земледелие невозможно без применения широкой механизации и автоматизации процессов орошения, контроля и регулирования водно-воздушного, теплового режима почв, влажности и температуры приземного слоя воздуха.

На начало 1991 года площадь мелиорированных земель в России составляла 11,3 млн га, из них 6,2 млн га приходилось на орошаемые земли. За 10 лет из оборота выбыли 2,2 млн га, в том числе 1,8 млн га орошаемых земель. Ежегодные потери гумуса на пашне составляют 0,62 т/га [2]. Эти процессы, происходящие в последние десятилетия в сельском хозяйстве, подтверждают необходимость разработки совершенных автоматизированных мелиоративных систем.

В орошаемом земледелии России наибольшее распространение получили дождевальные машины. В структуре отечественного парка дождевальной техники в настоящее время 35 % приходится на машины (ДМ) первого поколения (ДДА-100М, ДДН-70, ДДН-100), тогда как в США – не более 2 %. На дождевальные машины (ДМ) второго поколения приходится 62,6 % («Фрегат» – 39,7 %, «Волжанка» – 19,7 %, «Днепр» – 3,2 %), причем большинство из этих машин отработали свой срок службы. На машины 3-го поколения, соответствующие современному техническому уровню зарубежных образцов (ДМ «Кубань»), приходится не более 1,4 %. Следовательно, в ближайшем будущем потребуется полная замена существующего парка дождевальных машин.

На российском рынке активно действуют зарубежные фирмы: Rain Bird (США), R. Bauer (Австрия), OCMUS (Италия), France Pivot и T-System Europe (Франция), Netafim (Израиль), Valley (США).

По показателям производительности, энергоемкости, материалоемкости, трудозатрат, качеству полива имеющиеся однотипные отечественные машины и зарубежные серийные ДМ существенно не отличаются, но серийно производимая отечественная техника по оснащенности техническими средствами контроля и управления отстает от современных серийных зарубежных образцов техники. Поэтому в настоящее время необходимо провести НИОКР по созданию машин 4-го поколения на основе существующего задела по ДМ серии «Кубань», «Коломенка», «Ладога», «Фрегат-Н».

Оросительные системы нового поколения – это высокоавтоматизированные и телемеханизированные системы, сочетающие локальную автоматизацию и диспетчеризацию, имеющие иерархическую связь. Средства орошения в составе систем орошения нового поколения дождевальных машин должны работать как автономно, так и в составе иерархической системы, обладать гибкостью, быть модульными и высокоунифицированными,

надежными в работе, обеспечивать контроль управления, анализ, диагностику и отображение хода технологических процессов, воздействовать на условия жизни растений и среды их обитания. Эти средства должны выполняться на базе современной компьютерной, микропроцессорной, микроконтроллерной и электронной цифровой техники. В качестве линий связи использовать проводные, радио, оптико-волоконные каналы.

Системы управления должны контролировать и регулировать водно-воздушный режим почвы, обеспечивая оптимальные влагозапасы в почве, параметры приземного слоя воздуха, проводить электростатическую и электромагнитную обработку воды.

Система управления объектами оросительной системы диктует необходимость обеспечения автоматического и дистанционного пуска и выключения дождевальная машины, предусмотреть защиту и блокировку машины от возможных аварийных ситуаций, систему диагностики и отображения ее состояния, модемы (контролируемые пункты) для телемеханической связи с диспетчерскими пунктами.

На машинах кругового действия дополнительно необходимы устройства для полива углов, регулирования поливной нормы скоростью движения опорных тележек и средства управления ими для увеличения площади и качества полива.

В последние годы значительно модернизированы широкозахватные ДМ с электроприводами американской компании «Valmont Irrigation». Этой компании принадлежит более 50 % мировых дождевальных систем.

По желанию заказчика ДМ «Valley» может быть оборудовано панелью управления (с кнопками ручного управления) – базовый вариант, со световыми индикаторами ее работы; панелью с цифровым дисплеем и механическими кнопками или с полноэкранным дисплеем и сенсорной клавиатурой, позволяющей программировать работу машины. Панели могут устанавливаться на центральной опоре или выноситься за пределы орошаемого поля. Управлять процессом полива можно с помощью радиосвязи, мобильного телефона или карманного персонального компьютера (рис. 1 и 2) [4].

Круговые ДМ «Valley» с гидроприводами выпуска 70-х гг. XX в. стали «прародителями» отечественных ДМ «Фрегат». Именно машины кругового действия вследствие их более низкой удельной стоимости получили наибольшее распространение в мире (более 90 %) [5].

В 1989 г. в НИМИ (г. Новочеркасск) была разработана система управления групповой работой ДМ «Фрегат». Система состояла из двух самостоятельных подсистем – подсистемы телемеханики и подсистемы автоматизированного управления. Система имеет управляющий вычислительный комплекс (УВК).



Рис. 1. Вид низконапорной дождевальной машины «Valley» со стороны центральной опоры



Рис. 2. Пульт управления работой низконапорной дождевальной машины «Valley»

Объективную информацию о состоянии объектов управления система управления получала от давления и расхода воды в трубопроводной сети, датчиков состояния дождевальных машин и насосной станции. Определение влагозапасов в почве и сроков поливов производилось расчетным путем, для чего в УВК вводится информация о выпавших осадках и испарившейся влаге. Датчики, контролирующие давление на насосной станции, по его величине и скорости изменения позволяют принять решение о включении или выключении насосных агрегатов.

Круговые ДМ «Valley» и отечественные ДМ «Фрегат» с гидроприводами работали на высоком давлении воды 0,6 МПа, что определяло их высокие энергетические затраты на полив. Рост стоимости энергетических ресурсов в западных странах вынудил производителей перейти на производство электрифицированных дождевальных машин с рабочим давлением воды 0,2 МПа, что позволило в три раза уменьшить затраты энергии на полив. Их попытки перевести дождевальные машины с гидроприводами на низкий напор не имели успеха, и поэтому производство дождевальных машин в развитых западных странах было прекращено. Однако дожде-

вальные машины с гидроприводами дешевле дождевальных машин с электроприводами и проще в эксплуатации. Поэтому они более перспективны для применения в орошаемом земледелии в условиях России. В связи с этим с 1985 г. в России не прекращались попытки перевода дождевальных машин «Фрегат» на низкий напор. В результате проведенных исследований были разработаны низконапорные дождевальные машины «Фрегат-Н» с рабочим давлением воды 0,4 МПа. При реконструкции дождевальных машин были увеличены рычаги гидроприводов и диаметры гидроцилиндров, при этом ухудшились технические характеристики гидроприводов машины [3].

В результате проведенных нами исследований в области автоматизации работы дождевальных машин «Фрегат» были разработаны:

- 1) Регулятор скорости дождевальной машины «Фрегат» [6].
- 2) Устройство управления дождевальной машиной, позволяющее регулировать скорость движения дождевальной машины [7].
- 3) Система управления и аварийной защиты многоопорной дождевальной машины «Фрегат», обеспечивающая постепенное открытие и закрытие задвижки на входе дождевальной машины без возникновения гидроударов в трубопроводной сети, и выключение гидропривода ведущей тележки – остановки движения машины при аварийной ситуации, предотвращающее поломку дождевальной машины [8].
- 4) Способ автоматизированного полива, при котором на секторах поля осуществляется чередование норм полива на увлажнение верхнего горизонта и всего активного (корнеобитаемого) слоя почвы. Способ полива позволяет предотвратить непроизводительные потери воды на глубинную фильтрацию и поддержание равномерного увлажнения корнеобитаемого слоя почвы [9].
- 5) Способ управления бороздковым импульсным поливом, в котором разработан принцип назначения поливных норм на увлажнение верхнего горизонта и всего активного слоя почвы по относительным показаниям датчиков интегральной влажности почвы, установленных в верхнем и нижнем горизонтах активного (корнеобитаемого) слоя почвы с автоматической тарировкой показаний датчиков в течение вегетационного периода [10].
- 6) Система управления многоопорной дождевальной машиной кругового действия. Система содержит центральный пульт управления, соединенный двухпроводной электрической линией связи с пультами управления дождевальных машин. Управление скоростью движения машины и поливной норы осуществляется регулятором давления, установленным на

входе дождевальной машины. На центральной опоре машины установлено кольцо с толкателями, воздействующими на клапан, установленный на трубопроводе машины. Клапан соединен трубкой управления с копирами, установленными на опорных тележках машины, при помощи которых изменяется скорость движения машины [11].

7) Система управления групповой работой широкозахватных дождевальных машин кругового действия, в которой осуществляется автоматическая разводка дождевальных машин кругового действия при наличии у них пересекающихся площадей полива [12].

8) Устройство управления движением дождевальной машины кругового действия, позволяющее дистанционно включать и выключать дождевальную машину, оснащенную гидравлической системой защиты от аварий, содержащую дополнительно гидравлический запорный клапан, установленный в линии питания гидропривода ведущей тележки машины [13].

9) Автоматизированная низконапорная оросительная система с гидравлической насосной станцией. Система содержит турбину, напрямую соединенную с насосом, подающим воду в оросительную сеть, к которой подключены низконапорные дождевальные машины «Фрегат». Центральный пульт управления соединен линией связи с пультами управления на дождевальных машинах. В трубопровод дождевальной машины вода подается под давлением 0,2 МПа, а в систему гидроприводов от дополнительного высоконапорного насоса, установленного на дождевальной машине, под давлением 0,6 МПа [14].

Разработанные принципы автоматизации дождевальных машин (ДМ) были использованы в системах управления дождевальными машинами кругового действия за рубежом и нижеприведенной предлагаемой автоматизированной оросительной системе с низконапорными дождевальными машинами «Фрегат» с рабочим давлением воды 0,2 МПа (рис. 3).

На рисунке 4 показана опорная тележка серийной низконапорной дождевальной машины «Фрегат-Н» с рабочим давлением воды 0,4 МПа. На рисунке 5 – отсечной клапан предложенной автоматизированной системы управления низконапорной ДМ «Фрегат» с рабочим давлением воды 0,2 МПа, установленный на входе линии питания гидроприводов опорных тележек ДМ.

Автоматизированная оросительная система с низконапорными дождевальными машинами «Фрегат» содержит источник орошения 1, на котором установлено водозаборное сооружение 2 с отстойником. Водозаборное сооружение 2 через затворы 3 соединено с группой высоконапорных насосов 4 и затворы 5 с группой низконапорных насосов 6 насосной станции.

Выход низконапорных насосов 6 через расходомер 7 соединен с входом низконапорного подводящего трубопровода 8. Выходы высоконапорных насосов 6 соединены с входом высоконапорного подводящего трубопровода 9. К низконапорному подводящему трубопроводу 8 подключены через задвижки 10 с гидроприводом 23 дождевальные машины 11. На дождевальной машине 11 высоконапорному подводящему трубопроводу 9 через отсечной клапан 12 с мембранным приводом подключена линия питания 13 гидроприводов 14 опорных тележек, соединенная с ними через клапаны-распределители 15. На входе гидропривода 14 ведущей опорной тележки ДМ установлен первый кран-задатчик 16 скорости движения ДМ. Параллельно первому крану-задатчику 16 установлены последовательно соединенные клапан 17 с мембранным приводом и второй кран-задатчик 18. Кроме того, к высоконапорному подводящему трубопроводу 9 через электрогидрореле 19 подключен вход линии гидравлической защиты 20 дождевальной машины от аварий с исполнительными клапанами 21, установленные на каждой опорной тележке. Выход линии гидравлической защиты 20 соединен с мембранными приводами гидрореле 21 и отсечного клапана 12. Вход гидрореле соединен с высоконапорным подводящим трубопроводом 9, а выходы – с верхней и нижней полостями поршневого гидропривода 23 задвижки 10. На центральной опоре ДМ установлено кольцо 24 с толкателями 25, воздействующими на трехходовой клапан 26, установленный на трубопроводе ДМ 11. Вход трехходового клапана 26 соединен с высоконапорным подводящим трубопроводом 9, а выход с мембранным приводом клапана 17.

Пульт управления (ПУ ДМ) 27 соединен с электрическим приводом электрогидрореле 18, датчиком давления воды 28 в трубопроводе ДМ, датчиком 30 скорости движения первой опорной тележки ДМ, датчиком 31 интегральной влажности почвы в нижнем горизонте активного слоя почвы, датчиком 32 интегральной влажности почвы в верхнем горизонте активного слоя почвы, установленных на первом секторе полива. Кроме того, ПУ ДМ 27 соединен двухпроводной линией связи 33 с центральным пультом управления (ЦПУ) 34, установленным в диспетчерском пункте на насосной станции. ЦПУ 34 соединен с выходом расходомера 7, датчиком давления воды 35 в высоконапорном подводящем трубопроводе 9, датчиком давления воды 36 в низконапорном подводящем трубопроводе 8, датчиком скорости ветра 37, датчиком температуры 38 в приземном слое воздуха, датчиком влажности воздуха 39, датчиками температуры почвы 40.

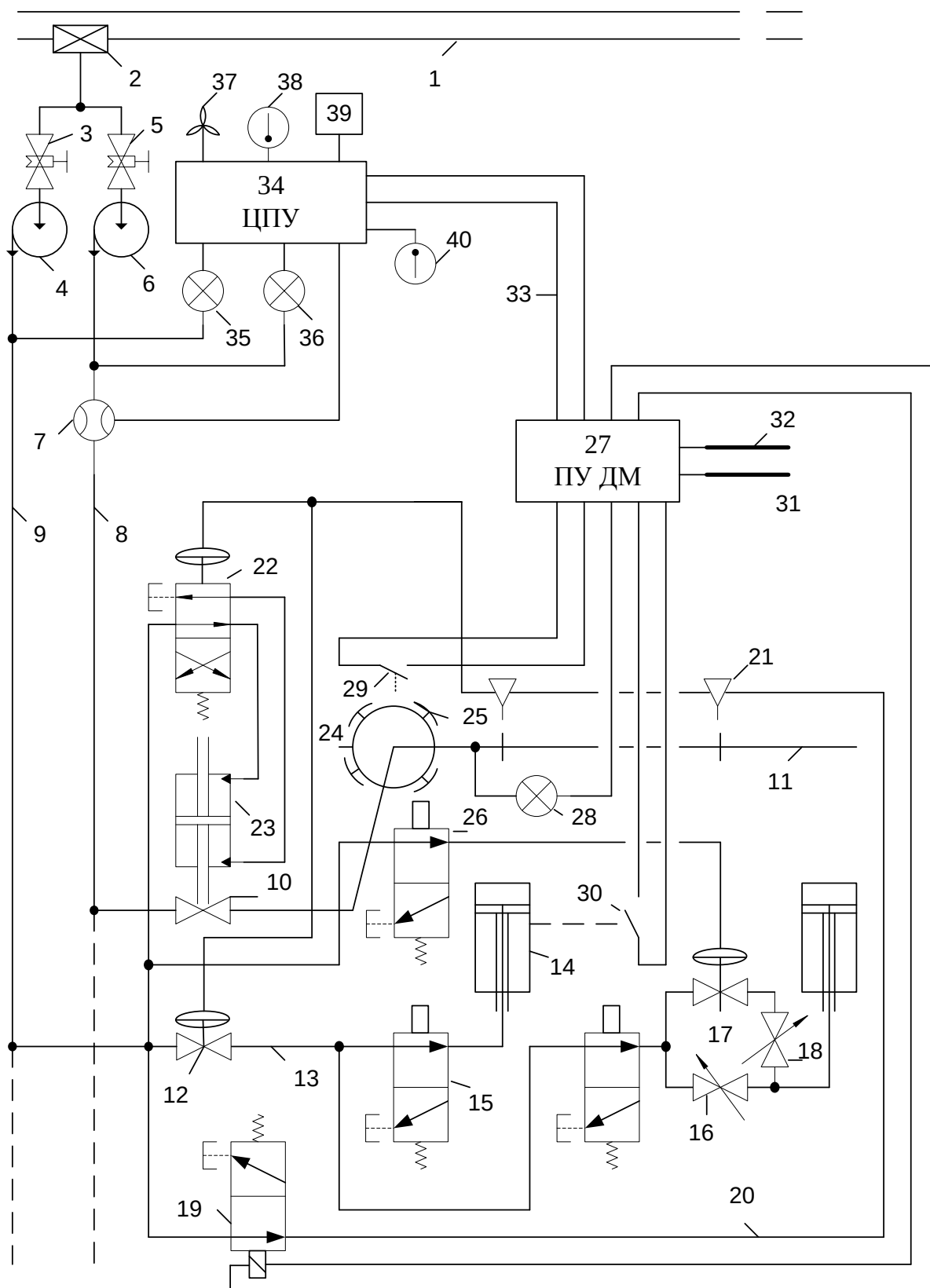


Рис. 3. Схема автоматизированной оросительной системы с низконапорными дождевальными машинами «Фрегат»



Рис. 4. Опорная тележка серийной низконапорной дождевальной машины ДМ «Фрегат-Н» с уменьшенным рабочим давлением воды с 0,60 МПа до 0,4 МПа



Рис. 5. Отсечной клапан, на входе предложенной системы управления работой низконапорной дождевальной машины с рабочим давлением 0,2 МПа

ЦПУ 34 содержит источник питания, компьютер, устройства согласования с датчиками (электронные ключи) и линией связи (устройство приема-передачи сигналов), блок управления насосными агрегатами, содержащий контроллер и тиристоры для управления включением, выключением и частотного регулирования вращением валов насосов.

ПУ ДМ 27 содержит источник питания, контроллер, устройства согласования с датчиками (электронные ключи) и линией связи (устройство приема-передачи сигналов).

Автоматизированная оросительная система работает следующим образом.

Перед началом полива ПУ ДМ 27 дождевальных машин (ДМ) 11 начинают контроль влажности в нижнем и верхних горизонтах активного слоя почвы. На дождевальных машинах первым 16 и вторым 18 кранами-задатчиками скорости движения дождевальной машины задают нормы полива на увлажнение верхнего горизонта и всего активного слоя почвы. При уменьшении влажности почвы в верхнем горизонте активного слоя почвы до нижнего порога оптимальной влажности почвы, контролируемой датчиком влажности 32. ПУ ДМ 27 дождевальных машин 11 передают ЦПУ 34 сигналы о необходимости начала поливов. Компьютер ЦПУ 34 опреде-

ляет, какие ДМ должны начать полив, их суммарные расходные характеристики, какое количество насосов необходимо для обеспечения этого расхода воды, и подает команду блоку управления насосными агрегатами на включение необходимого количества насосных агрегатов. Блок управления (БУ) 27 открывает затворы 5 на входе насосных агрегатов, включает первый низконапорный насосный агрегат. Затем БУ 27 производит пуск первого высоконапорного насоса. После заполнения водой низконапорного подводящего трубопровода 8 и высоконапорного трубопровода 9 ЦПУ 34 по показаниям расходомера 6 контролирует расход в подводящей трубопроводной сети на наличие утечек. При отсутствии утечек в сети ЦПУ 34 подает команду ПУ ДМ 27 первой выбранной ДМ на ее включение. ПУ ДМ 27 включает электрогидрореле 19. Вода из высоконапорного подводящего трубопровода 9 подается в линию гидравлической защиты 20 ДМ от аварий с исполнительными клапанами 21 и затем на мембранные приводы отсечного клапана 12 и гидрореле 22 управления гидроприводом задвижки 11. Отсечной клапан 12 открывается, и вода под давлением 0,6 МПа подается в линию питания 13 гидроприводов 14 ДМ 11. ДМ 11 начинает движение. Гидрореле 22 переключает гидропривод задвижки на открытие задвижки 10, вода из низконапорного подводящего трубопровода 8 под давлением 0,2 МПа подается в трубопровод ДМ 11, которая начинает полив первого сектора полива нормой полива на увлажнение верхнего горизонта активного слоя почвы. На первом секторе привод трехходового клапана 26 взаимодействует с толкателем 25, закрепленным на кольце 24, установленном на центральной опоре ДМ 11. При этом вода из высоконапорного трубопровода 9 подается на мембранный привод клапана 17. Клапан 17 открывается, и вода через клапан-распределитель 15 через первый 16 и второй 18 краны-здатчики скорости движения ДМ поступает в гидропривод 14 ДМ. Таким образом, первый сектор поливается нормой полива на увлажнение верхнего горизонта активного слоя почвы. После включения ДМ 11 ЦПУ 34 начинает контроль по расходомеру 6 расхода, который потребляет включенная дождевальная машина. По показаниям датчиков давления 35 и 36 в высоконапорном 9 и низконапорном трубопроводе 8 ЦПУ 34 контролирует необходимое давление воды в этих трубопроводах и включение выбранной ДМ по потребляемому расходу. ПУ ДМ 27 после включения гидрореле 20 контролирует по показаниям датчика давления 28 давление воды в трубопроводе ДМ, а по датчику 30 скорость движения первой опорной тележки (времени хода гидроцилиндра) и, следовательно, скорости движения ДМ 11. При несоответствии показаний датчиков 28 и 30 заданным номинальным значениям ПУ ДМ 27 выключает электрогидрореле 19, отсечной клапан 12 и задвижка 10 закрываются, ДМ 11 останавливается и полив прекращается. ПУ ДМ 27 подает в линию связи 33 сигнал о виде неисправности на ДМ.

Аналогичным образом ЦПУ 34 управляет включением других ДМ, с дискретным подключением новых насосных агрегатов и плавным регулированием частоты вращения рабочих колес насосных агрегатов.

При возникновении неисправности на тележке ДМ открывается исполнительный клапан 21 системы гидравлической защиты ДМ от аварий. Давление в линии 20 линии гидравлической защиты падает, отсечной клапан 12 закрывается, гидрореле 22 выключается, задвижка 10 закрывается, полив ДМ 11 прекращается. ПУ ДМ 27 подает сигнал в линию связи 33 об аварийном выключении ДМ, а ЦПУ 34 подает команду ПУ ДМ 27 резервной ДМ на ее включение.

После полива первого сектора клапан 26 выходит из взаимодействия с толкателем 25, установленным на кольце 24. Клапан 17 закрывается, и вода в гидропривод 14 ведущей опорной тележки подается только через первый кран-задатчик 16. Скорость движения ДМ уменьшается, и полив второго сектора ДМ проводит нормой полива нормой на увлажнение всего активного слоя почвы и т.д.

После завершения круга полива ПУ ДМ 27 останавливает полив ДМ.

После этого операторы ДМ перемещают толкатели 25 на соседние сектора полива для изменения порядка выдачи поливных норм на сектора.

Следующий круг полива ДМ начинается при срабатывании датчика влажности 31 почвы, установленного в нижнем горизонте активного слоя почвы на первом секторе полива. Полив на увлажнение сектора нормой полива на увлажнение верхнего горизонта активного слоя почвы проводится днем, а полив сектора нормой полива на увлажнение всего активного слоя почвы проводится в ночное время. Управление этим режимом орошения осуществляет ЦПУ 34. При остановках и перерывах в поливах ДМ ЦПУ 34 производит подключение к поливу резервных дождевальных машин, поливающих более засухоустойчивые культуры. ЦПУ 34 также рассчитывает по датчикам скорости ветра 35, датчиком температуры 36 в приземном слое воздуха, датчиком влажности воздуха 37, датчиками температуры почвы 38 эвапотранспирацию (суммарное испарение) с полей сельскохозяйственными культурами, сравнивает их с показаниями датчиков влажности, контролируя их исправность. При превышении скорости ветра допустимого значения, ЦПУ 34 останавливает полив дождевальными машинами и подключает к поливу резервные системы для полива сельскохозяйственных культур по бороздам, либо из дождевальных машин с приземными дождевальными насадками.

Кроме того, ЦПУ 34 может быть связан по радиоканалу с центральным пультом управления, установленным в правлении сельскохозяйственного кооператива, куда передается информация о работе оросительной системы и откуда может быть получен прогноз погоды. В соответствии с прогнозом, при прогнозировании выпадения осадков или низкой эвапо-

транспирации, к поливу подключаются резервные ДМ или участки с засухоустойчивыми культурами, поливы которых осуществляются ущемленными нормами полива.

Разработанная автоматизированная оросительная система с низконапорными дождевальными машинами кругового действия с гидроприводами «Фрегат» позволяет перевести серийные дождевальные машины «Фрегат» с рабочим режимом 0,6 МПа на рабочий режим 0,2 МПа – стандартный режим работы зарубежных электрифицированных дождевальных машин, без изменения конструкций гидроприводов серийных дождевальных машин и ухудшения технических характеристик гидроприводов. На работу гидроприводов в высоконапорном режиме используется не более 5...10 % воды, подаваемой в оросительную систему. Это позволяет уменьшить затраты энергии на орошение пропорционально уменьшению рабочего давления в дождевальных машинах и обеспечить конкурентоспособность дождевальных машин с гидроприводами «Фрегат» электрифицированным дождевальным машинам, обеспечить дистанционное управления работой дождевальных машин с диспетчерского пункта и с любой опорной тележки дождевальной машины, повысить КПД оросительной системы и качество орошения.

Библиографический список

1. Воробьев, С.А. Земледелие / С.А. Воробьев [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1991. – 527 с.
2. Кирейчеева, Л.В. Комплексные мелиорации как средство повышения продуктивности земель. Методология, модели и технологии / Л.В. Кирейчеева // МиВХ. – 2005. – № 6. – С. 42–47.
3. Кондратенко, А.А. Модернизация снижает энергоемкость полива дождеванием / А.А. Кондратенко, Б.П. Фокин // МиВХ. – 2003. – № 5. – С. 24–27.
4. Меламед, М.Д. О перспективах рынка зарубежных дождевальных машин в России / М.Д. Меламед, Е.И. Кормыш, К.В. Губер // МиВХ. – 2006. – № 5. – С. 50–53.
5. Ольгаренко, Г.В. Дождевальная техника нового поколения / Г.В. Ольгаренко, В.И. Городничев // МиВХ. – 2006. – № 2. – С. 34–36.
6. А.С. 973079 СССР, МКИ А 01 G 25/09. Регулятор скорости дождевальной машины / В.И. Пронов, И.А. Ким ; опубл. 15.11.82, Бюл. № 42.
7. А.С. 1020084 СССР, МКИ А 01 G 25/16. Устройство управления дождевальной машиной / В.И. Пронов, И.А. Ким, П.М. Чертков ; опубл. 30.05.83, Бюл. № 20.
8. А.С. 1360653 СССР, МКИ А 01 G 25/16, 25/09. Устройство управления дождевальной машиной / И.А. Ким ; опубл. 23.12.87, Бюл. № 47.

9. А.С. 1375190 СССР, МКИ А 01 G 25/00. Способ автоматизированного полива / В.И. Пронов, И.А. Ким ; опубл. 23.02.88, Бюл. № 7.
10. А.С. 1528392 СССР, МКИ А 01 G 25/16. Способ управления бороздковым импульсным поливом / Э.Э. Маковский, И.А. Ким ; опубл. 15.12.89, Бюл. № 46.
11. А.С. 1665977 СССР, МКИ А 01 G 25/09. Система управления многоопорной дождевальнoй машиной кругового действия / Э.Э. Маковский, И.А. Ким, М.Б. Джемгирчинов, Г.М. Ким ; опубл. 30.07.91, Бюл. № 28.
12. А.С. 1665983 СССР, МКИ А 01 G 25/16, 25/09. Система управления групповой работой широкозахватных дождевальных машин кругового действия / Э.Э. Маковский, М.Б. Джемгирчинов, И.А. Ким ; опубл. 30.07.91 ; Бюл. № 28.
13. Устройство управления движением дождевальной машины кругового действия : предварительный пат. 187 КГ, МКИ А 01 G 25/09 / Маковский Э.Э., Ким И.А. ; опубл. 01.10.98, Бюл. № 1.
14. Автоматизированная низконапорная оросительная система с гидравлической насосной станцией : пат. под ответственность заявителя 603 КГ, МКИ А 01 G 25/09 / Ким И.А., Цой В.К., Ким А.И., Лавров Н.П. ; опубл. 31.11.03, Бюл. № 11.

УДК 621.315.592:548.5

© Ермолаева Н.В., Литвин Н.В., 2008

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЯТИКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $A^{III}B^V$ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Приводятся результаты анализа областей спинодального распада для пятикомпонентных твердых растворов. Определены критические температуры спинодального распада для ряда многокомпонентных гетероструктур и параметры равновесной двухфазной системы, образующейся в области термодинамической неустойчивости для гетероструктур $AlGaInAsP$ и $AlGaInAsSb$. Рассмотрены возможности приборного применения в техническом обеспечении информационных систем пятикомпонентных гетероструктур, выращенных в областях спинодального распада.

Прогресс в области современных высоких технологий, в том числе и в области новых информационных технологий, обусловлен достижениями в области электронного материаловедения и физики твердого тела. Особый интерес представляют материалы на основе соединений $A^{III}B^V$, в особенности – четверные (ЧТР) и пятерные твердые растворы (ПТР) и гетероструктуры на их основе. Здесь A^{III} – элементы третьей группы таблицы Менделеева (Al, Ga, In), B^V – элементы пятой группы (P, As, Sb).

В ЧТР существует возможность независимого управления шириной запрещенной зоны, периодом кристаллической решетки, а для пятерных систем и коэффициентом термического расширения (КТР). Таким образом,

в пятикомпонентных твердых растворах существует возможность независимо изменять концентрацию трех компонентов и, следовательно, независимо варьировать три свойства. Это является несомненным достоинством ПТР.

На сегодняшний день реализованы преимущества твердых растворов на основе соединений $A^{III}B^V$ в виде полученных эффективных фото- и светодиодов, гетеролазеров и целого класса твердотельных приборов и устройств, работающих в широком спектральном диапазоне.

Однако большинство многокомпонентных твердых растворов (МТР) имеет обширные области термодинамической неустойчивости. Анализ результатов экспериментальных исследований показывает на расширение области термодинамической неустойчивости с ростом числа компонентов в твердых растворах. При выращивании в области термодинамической неустойчивости при определенных температуре и составах однородные твердые растворы полупроводников оказываются неустойчивыми и распадаются на периодические структуры с чередующимся составом. Отмечается, что приборы на основе указанных твердых растворов менее подвержены процессам деградации.

Ранее основной целью технологов было получение стабильных однородных твердых растворов. В результате экспериментальные работы, касающиеся получения структур с чередующимся составом, носили случайный характер. На сегодняшний день ряд авторов полагают, что явление модуляции состава можно использовать для получения наногетероструктур. Наномасштабные пленки с периодическим модулированным химическим составом являются перспективным материалом для создания приборов nano- и оптоэлектроники.

Сегодня наиболее изучено поведение ЧТР в области термодинамической неустойчивости. Представляет интерес исследование областей термодинамической неустойчивости для пятикомпонентных твердых растворов с целью расширения диапазона их практического применения.

Анализ областей неустойчивости твердых растворов основан на термодинамическом подходе. В качестве модели для твердых растворов нами использована модель регулярных растворов Илегемса – Паниша. При расчетах учитывались напряжения, возникающие на гетерогранице.

Нами был проведен анализ областей спинодального распада для ряда пятикомпонентных твердых растворов и рассмотрены возможности приборного применения МТР при выращивании в указанных областях. В таблице 1 приведены интервалы изопериодных составов, попадающих в область термодинамической неустойчивости и соответствующие этим составам значения ширины запрещенной зоны. Расчеты показывают, что для ПТР $AlGaInAsP$, $AlGaSbPAs$, $InGaSbPAs$ рассогласование решетки подложки и эпитаксиального слоя на величину $\sigma_a=0,1\%$ вызывает напряже-

ния на гетерогранице, которые должны предотвращать спиновальный распад. В остальных пятикомпонентных системах упругие напряжения спиновальный распад не предотвращают, но несколько сужают границы области термодинамической неустойчивости.

Наиболее обширные области спиновального распада в пятикомпонентных гетеросистемах $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}_z\text{Sb}_{1-z}/\text{GaSb}$, $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{Sb}_z\text{As}_{1-z}/\text{InAs}$, $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}_z\text{Sb}_{1-z}/\text{GaSb}$, $\text{Al}_z\text{In}_{1-z}\text{PxSbyAs}_{1-x-y}/\text{InAs}$. В рассматриваемых гетеросистемах с ростом концентрации алюминия в твердом растворе область спиновального распада расширяется. В ПТР $\text{Ga}_z\text{In}_{1-z}\text{PxSbyAs}_{1-x-y}/\text{InAs}$ области спиновального распада существенно расширяются с ростом содержания сурьмы.

Исследования показали, что повышение температуры эпитаксии вызывает сужение области неустойчивости. Однако возможности существенного повышения температуры эпитаксии ограничены сравнительной легкоплавкостью используемых подложек и кристаллизующихся на ней твердых растворов. Таким образом, указанные твердые растворы представляют интерес с точки зрения получения модулированных структур на их основе в области спиновального распада.

Таблица 1

**Пределы изменения состава и ширины запрещенной зоны
в области термодинамической неустойчивости
для изопериодных ПТР соединений A^3B^5**

Гетеросистема	Пределы изменения состава	Ширина запрещенной зоны, эВ (λ , мкм)
1	2	3
$\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{Sb}_z\text{As}_{1-z}/\text{InAs}$	$0,01 \leq x \leq 0,9$ $0,0 \leq y \leq 0,9$ $0,18 \leq z \leq 0,9$	0,35–1,65 (0,75–3,54)
$\text{Ga}_z\text{In}_{1-z}\text{PxSbyAs}_{1-x-y}/\text{InAs}$	$0,0 \leq x \leq 0,5$ $0,1 \leq y \leq 0,82$ $0,01 \leq z \leq 0,9$	0,35–0,6 (2,07–3,54)
$\text{Al}_z\text{In}_{1-z}\text{PxSbyAs}_{1-x-y}/\text{InAs}$	$0,0 \leq x \leq 0,3$ $0,0 \leq y \leq 0,91$ $0,03 \leq z \leq 1,0$	0,5–1,6 (0,78–2,48)
$\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}_z\text{P}_{1-z}/\text{InP}$	$0,1 \leq x \leq 0,4$ $0,12 \leq y \leq 0,3$ $0,45 \leq z \leq 0,9$	1,3–1,5 (0,83–0,95)
$\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{Sb}_z\text{P}_{1-z}/\text{InP}$	$0,0 \leq x \leq 1,0$ $0,0 \leq y \leq 1,0$ $0,14 \leq z \leq 0,61$	1,3–1,94 (0,63–0,95)
$\text{Ga}_z\text{In}_{1-z}\text{SbxAsyP}_{1-x-y}/\text{InP}$	$0,1 \leq x \leq 0,5$ $0,0 \leq y \leq 0,9$ $0,14 \leq z \leq 0,92$	0,75–1,2 (1,03–1,65)

Окончание табл. 1

1	2	3
$\text{AlzIn}_{1-z}\text{SbxAs}_y\text{P}_{1-x-y}/\text{InP}$	$0,0 \leq x \leq 0,5$ $0,0 \leq y \leq 0,9$ $0,12 \leq z \leq 1,0$	1,26–1,8 (0,98–0,69)
$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{PzAs}_{1-z}/\text{GaAs}$	$0,3 \leq x \leq 0,48$ $0,2 \leq y \leq 0,7$ $0,6 \leq z \leq 0,83$	1,7–2,15 (0,58–0,73)
$\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{SbxPyAs}_{1-x-y}/\text{GaAs}$	$0,1 \leq x \leq 0,2$ $0,34 \leq y \leq 0,6$ $0,0 \leq z \leq 0,31$	1,62–1,8 (0,69–0,77)
$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{AszSb}_{1-z}/\text{GaSb}$	$0,1 \leq x \leq 0,7$ $0,05 \leq y \leq 0,9$ $0,08 \leq z \leq 0,62$	0,22–1,6 (0,78–5,64)
$\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{PzSb}_{1-z}/\text{GaSb}$	$0,1 \leq x \leq 0,5$ $0,0 \leq y \leq 0,88$ $0,09 \leq z \leq 0,31$	0,6–,53 (2,1–0,81)
$\text{AlzGa}_{1-z}\text{PxAsySb}_{1-x-y}/\text{GaSb}$	$0,0001 \leq x \leq 0,04$ $0,006 \leq y \leq 0,076$ $0,22 \leq z \leq 1,0$	1,0–1,7 (0,72–,24)
$\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{PxAsySb}_{1-x-y}/\text{GaSb}$	$0,001 \leq x \leq 0,5$ $0,0 \leq y \leq 0,75$ $0,18 \leq z \leq 1,0$	0,6–,25 (2,07–4,96)

В модели регулярных растворов с учетом напряжений на гетерогранице были рассчитаны критические составы и температуры для ряда ПТР. Получено, что критические температуры спинодального распада для ряда ПТР принимают значения 700–1450К, что соответствует типичным температурам эпитаксии для большинства рассматриваемых ПТР (табл. 2). Следовательно, существует возможность получения наномасштабных пленок с периодическим модулированным химическим составом на основе большинства ПТР при жидкофазной эпитаксии.

Варианты возможного приборного применения ПТР при их синтезе в области спинодального распада предложены в таблице 3. Видно, что практическое освоение областей термодинамической неустойчивости для ряда МТР должно существенно расширить границы их применения в качестве материалов для приборов электронной техники, применяемых в технической базе информационных систем.

Аппаратно-техническая база информационной системы включает в себя компьютеры любых моделей, оргтехнику, каналы телекоммуникаций. На сегодняшний день передача и переработка больших объемов информации осуществляется посредством волоконных кабелей.

Таблица 2

Критические температуры спинопального распада ПТР

Соединение	$T^{кр}$, К	$T^{эп}$, К	Подложка
AlGaInAsP	1447	883-983	InP
AlGaInAsSb	774	648-748	GaSb
AlGaInPSb	896	670-770	GaSb
GaInPAsSb	710	700-800	InAs
AlGaPAsSb	823	750-850	GaSb

Таблица 3

**Возможности применения МТР, выращиваемых в области
термодинамической неустойчивости в качестве материальной базы
технических средств информационных систем**

Система	Ширина запрещенной зоны в области ТД неустойчивости, эВ (λ , мкм)	Длина волны λ , мкм	Область применения
InAlGaPAs / GaAs	1,7–2,15 (0,58–0,73)	0,58-0,64	Создание систем отображения информации и сигнализации в расчете на визуальный контроль
AlGaInAsP / InP	1,3–1,5 (0,83–0,95)	0,92-0,98	Накачка антистоксовых люминофоров
AlInPSbAs / InP	1,26–1,28 (0,69–0,98)		
AlGaInSbP / InP	1,3–1,94 (0,63–0,95)		
AlGaSbPAs / GaSb	1,0–1,7 (0,72–1,24)	1,06	Имитаторы излучения мощных лазеров на неодимовом стекле
GaInSbAsP / InP	0,75–1,2 (1,03–1,65)	1,0–1,4	«Окно прозрачности» в волоконных светодиодах, минимум дисперсии фазовой скорости излучения в волокне
AlInPSbAs / InAs	0,5–1,6 (0,78–2,48)		
AlGaInAsP / InP	0,82–0,91 (1,36–1,51)	1,37–1,4	Сырье для оптического волокна
AlGaInPSb / GaSb	0,6–1,53 (0,81–2,07)	Вблизи 1,6	Абсолютный минимум затухания в волоконных светодиодах, системы связи большой дальности
AlGaInAsSb / GaSb		2,4–2,5	Максимум оптической прозрачности инфракрасных волноводов на флюоридном стекле

Волоконный кабель лучше приспособлен к работе в условиях мощных электромагнитных помех (сигнал, идущий по волокну, попросту не реагирует на эти помехи), он гораздо легче, а главное – для его изготовле-

ния не требуется дефицитная медь. Источником излучения может быть светодиод, или полупроводниковый лазер. Для скоростных и протяженных волоконных линий связи наиболее перспективно применение полупроводниковых лазеров, создающих когерентное (то есть с очень узким спектром) излучение. Следовательно, наиболее перспективно применять пятикомпонентные гетероструктуры в волоконно-оптических средствах передачи информации в качестве источников и приемников излучения. Варьируя состав твердого раствора, можно вырастить гетероструктуры с шириной запрещенной зоны, которая обеспечивает работу в спектральном диапазоне, соответствующем минимуму потерь для оптоволокна.

Как уже отмечалось, приборы на основе твердых растворов с модуляцией состава менее подвержены процессам деградации. В настоящей работе нами был исследован процесс модуляции состава при эпитаксии гетеросистем AlGaInAsP и AlGaInAsSb . Данные гетеросистемы представляют интерес в качестве материалов для оптоэлектронной техники ИК-диапазона. ПТР $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}_z\text{Sb}_{1-z}/\text{GaSb}$ могут применяться для формирования элементной базы ИК волоконных линий связи на основе флюоридных стекол с низкими потерями ($\lambda=2,4\text{--}2,5$ мкм), слои $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}_z\text{P}_{1-z}/\text{InP}$ могут быть использованы в качестве инжекционных излучателей ИК-диапазона ($\lambda=1,37\text{--}1,41$ мкм).

Были определены параметры образующейся равновесной двух-фазной системы в ПТР, осаждаемых в условиях жидкофазной эпитаксии в областях спинодального распада. Варьирование состава твердых растворов обеспечивает получение большого разнообразия макроскопических периодов двухфазных систем. Для гетероструктуры $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}_z\text{P}_{1-z}/\text{InP}$ с составами $0,0 \leq x \leq 0,07$, $0,25 \leq y \leq 0,31$, $0,58 \leq z \leq 0,72$ периоды имеют величину 150–270 нм, что по порядку величины соответствует периодам, наблюдавшимся в четырехкомпонентных системах. Однако в ПТР существует более широкий диапазон варьирования составов для достижения когерентного сопряжения фаз. Тем самым расширяется спектральный диапазон работы приборов на их основе.

Результаты расчетов оптимальных периодов слоистой структуры для системы $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{P}_z\text{Sb}_{1-z}$ приведены в таблице 4. Видно, что имеется большое разнообразие макроскопических периодов двухфазных систем. Периоды имеют величину 25–68 нм.

Таблица 4

Параметры без дислокационных модулированных структур, спонтанно образующихся в результате распада твердого раствора $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{P}_z\text{Sb}_{1-z}$ при различных температурах выращивания:
 d – период слоистой двухфазной структуры;
 $L_{\perp}$ – толщина осаждаемого эпитаксиального слоя

Т, К	Состав твердого раствора двух фаз		$L_{\perp}=0,1$ мкм	$L_{\perp}=1$ мкм
	(x_1, y_1, z_1)	(x_2, y_2, z_2)	$d_{\text{опт}}, \text{нм}$	$d_{\text{опт}}, \text{нм}$
750	0,1; 0,06; 0,12	0,1; 0,10; 0,92	25,0	50,0
750	0,1; 0,21; 0,07	0,1; 0,30; 0,95	32,0	65,0
750	0,2; 0,02; 0,10	0,2; 0,16; 0,96	31,5	64,3
750	0,2; 0,09; 0,08	0,2; 0,25; 0,98	38,0	68,0
790	0,1; 0,07; 0,18	0,1; 0,14; 0,96	26,0	54,0
790	0,2; 0,02; 0,10	0,2; 0,20; 0,92	27,6	62,1

Проведенные нами исследования полученных структур указали на улучшение структурных характеристик эпитаксиальных слоев. В целом, наблюдается более резкое снижение плотности дислокаций в глубине эпитаксиальных слоев с составами из области термодинамической неустойчивости, чем для абсолютно устойчивых твердых растворов. Сравнение экспериментальных зависимостей показало, что при сходных технологических параметрах роста плотность дислокаций в слое с модуляцией состава в два раза ниже таковой для однородного слоя. Таким образом, модуляция состава препятствует движению дислокаций в глубине эпитаксиального слоя.

В процессе исследований снимался спектр фотолюминесцентного излучения, а также его интенсивность. По спектрам фотолюминесценции (ФЛ) была экспериментально определена ширина запрещенной зоны полученных слоев ПТР. Исследования проводились для температур 77 и 300 К.

Было получено, что интенсивность излучения ПТР на основе GaSb значительно выше, чем для соответствующих четырехкомпонентных твердых растворов. Поэтому ПТР $\text{InAlGaAsSb}/\text{GaSb}$ более предпочтительны для создания высокоэффективных приборов, основанных на излучательной рекомбинации, например высокоэффективных светодиодов.

Спектры фотолюминесценции эпитаксиальных слоев AlGaInAsP на подложках фосфида индия также характеризуются высокой интенсивностью краевых полос. При 300 К имеет место очень интенсивное краевое излучение с резким максимумом при длине волны $\lambda = 1,392$ мкм с шириной линии 65 мэВ. При 77 К максимум фотолюминесценции сдвинут в более коротковолновую часть $\lambda = 1,364$ мкм. Отмечается линейное изменение энергии максимумов кривых ФЛ в области температур от 77 до 300 К. Важной особенностью полученных слоев является отсутствие тенденции к расширению полос фотолюминесценции, характерной для эпитаксиальных слоев с неоднородностью состава.

В целом, модуляция состава в ПТР AlGaInAsP не снижает интенсивность излучения. Кроме того, модуляция состава в эпитаксиальных слоях препятствует размножению и переползанию дислокаций. Предполагается, что в ПТР AlGaInAsP безизлучательная рекомбинация, усиливаемая скольжением и переползанием дислокаций, будет затруднена. Тем самым увеличится долговечность и надежность приборов на их основе.

Заключение

Пятерные твердые растворы соединений $A^{III}B^V$ и гетероструктуры на их основе являются перспективными материалами для приборов электронной техники, применяемых в технической базе информационных систем. Наиболее перспективно применять пятикомпонентные гетероструктуры в волоконно-оптических средствах передачи информации в качестве источников и приемников излучения.

Библиографический список

1. Ермолаева, Н.В. Особенности эпитаксиального роста гетероструктур InAlGaAsSb/GaSb для волоконно-оптических линий связи в области термодинамической неустойчивости : сб. тр. XIV Междунар. науч.-технич. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века», Севастополь / Н.В. Ермолаева. – 2003. – Т. 1. – С. 260–263.
2. Ермолаева, Н.В. Моделирование и исследование пространственной модуляции состава при эпитаксиальном выращивании гетероструктур AlGaInAsP/InP в области термодинамической неустойчивости : сб. тр. XIV Междунар. науч.-технич. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века», Севастополь / Н.В. Ермолаева, З.Н. Емельянова. – 2007. – Т. 2. – С. 39–42.
3. Ипатова, И.П. Образование периодических структур с модулированным составом при когерентном разделении фаз в четырехкомпонентных твердых растворах полупроводников A^3B^5 / И.П. Ипатова, В.Г. Малышкин [и др.] / И.П. Ипатова // ФТП. – 1993. – Т. 27. – № 11/12. – 1943 с.
4. Красильников, В.С. Влияние состава твердых растворов на условия когерентного роста эпитаксиальных слоев $Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ / В.С. Красильников, Т.Г. Югова [и др.] // Кристаллография. – 1988. – Т. 33, вып. 6. – С. 1469–1477.
5. Кузнецов, В.В. Неравновесные явления при жидкостной гетероэпитаксии полупроводниковых твердых растворов / В.В. Кузнецов, П.П. Москвин, В.С. Сорокин. – М. : Металлургия, 1991. – 175 с.
6. Кузнецов, В.В. Гетероструктуры на основе четверных и пятерных твердых растворов соединений A^3B^5 / В.В. Кузнецов, Л.С. Лунин, В.И. Ратушный. – Ростов н/Д. : Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. – 376 с.

7. Лозовский В.Н. Пятикомпонентные твердые растворы соединений A^3B^5 (новые материалы оптоэлектроники) / В.Н. Лозовский, Л.С. Лунин. – Ростов н/Д. : Изд-во Ростовского ун-та, 1992. – 193 с.
8. Лунин, Л.С. Моделирование и исследование гетерогенных взаимодействий при эпитаксиальном выращивании пятикомпонентных твердых растворов A^3B^5 в области термодинамической неустойчивости / Л.С. Лунин, А.В. Благин, Н.В. Ермолаева // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2001. – № 3. – С. 92–94.

УДК 621. 315.592

© Ермолаева Н.В., Литвин Н.В., 2008

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящей статье приводится алгоритм расчета основных технологических параметров получения таких перспективных материалов, как пятикомпонентные твердые растворы, нашедших свое применение в области информационных технологий. Рассмотрены основные явления, происходящие в процессе роста кристалла из жидкой зоны при зонной перекристаллизации градиентом температуры, и проведено их математическое моделирование.

Перспективность использования пятикомпонентных твердых растворов (ПТР) как материалов, нашедших применение в области информационных технологий, диктует необходимость создания новых методов их получения. А это, в свою очередь, требует создания приемлемых математических моделей таких методов с целью прогнозирования их использования, а также уточнения технологических параметров выращивания конкретных ПТР. Один из таких методов – комбинированный метод выращивания ПТР из жидкой фазы с последующей перекристаллизацией в поле температурного градиента. Сущность метода состоит в выращивании тонких эпитаксиальных слоев ПТР на расположенных друг над другом подложках, а затем последующей перекристаллизации слоя с одной из подложек на другую с образованием более толстого слоя ПТР того же состава. В данной работе описан математически второй этап предложенного метода.

В начале второго этапа имеем «сэндвич», состоящий из пяти слоев: подложки, наращенные на первом этапе слои ПТР и жидкая зона между ними. Модель «сэндвича» состоит из однородных параллельных слоев и не содержит аномальных границ раздела сред, так как:

- все границы слоев совпадают с одноименным семейством координатных поверхностей $x = \text{const}$;
- теплопроводность слоев не изменяется вдоль указанных границ.

В исходных данных состав выращенных слоев ПТР, а также состав жидкой зоны после первого этапа процесса. Целью моделирования является определение таких технологических параметров, как температуры процесса, толщина жидкой зоны, переохлаждения расплава. Обозначим состав n -компонентной жидкой зоны как $\gamma_1, C_1, \dots, \gamma_n, C_n$, где γ – коэффициент активности, C – состав того или иного компонента в жидкой зоне. В ходе процесса ЗПГТ непрерывно происходят следующие явления:

- 1) растворение источника жидкой зоной;
- 2) диффузия компонентов источника через жидкую зону в сторону подложки;
- 3) осаждение на подложку слоя заданного состава, обусловленного диаграммой состояния системы;
- 4) в результате процессов растворения источника и роста кристалла на подложке происходит перераспределение поля температурного градиента, причем в жидкой зоне, где коэффициент теплопроводности зависит от изменяющегося по толщине состава, наблюдается нелинейная изменяющаяся во времени зависимость $T(x)$.

Следует также учитывать, что наличие в системе поля температурного градиента обуславливает зависимость коэффициента диффузии каждого компонента жидкой зоны от температуры.

Разрешение такой задачи, описание данного процесса в динамике, построение его математической модели требует определенных допущений:

- 1) Будем считать, что движется не зона, а изменяется толщина подложки с ее внешней стороны, т.е. зафиксируем границу зона-источник и примем ее координату за начало отсчета $x=0$.
- 2) Примем скорость растворения равной скорости кристаллизации $v_k = v_p$.
- 3) Не будем учитывать термодиффузию.
- 4) Коэффициент диффузии каждого компонента будем считать независимым от концентрации других компонентов (приближение независимой диффузии).

Далее, представим диффузию компонентов от источника к подложке, считая концентрацию i -го компонента в источнике постоянной, как диффузию из постоянного источника. Решим для такого случая закон Фика:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$C_i(x, 0) = C_i^3, \quad (2)$$

где C_i^3 – исходная концентрация компонента i в зоне:

$$C_i(0, t) = C_i^u, \quad (3)$$

где C_i^u – концентрация компонента i в источнике.

Условие (2) можно привести к нулю в правой части, если заменить концентрации компонентов на разность концентрации компонента и его исходной концентрации в жидкой зоне:

$$\Delta C_i = C_i - C_i^3. \quad (4)$$

Тогда из (1) получим

$$\frac{\partial(\Delta C_i)}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2(\Delta C_i)}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Условие (3) преобразуется к виду:

$$C_i(0,t) = C_i^u - C_i^3 = \Delta C_i^0. \quad (6)$$

Решением уравнения (5) является выражение:

$$\Delta C_i(x,t) = \Delta C_i^0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_i t}} \right), \quad (7)$$

где D_i – функция, зависящая от температуры.

Найдем зависимость $D_i = f(T(x))$. Коэффициент диффузии связан с длиной скачка δ и средней частотой прыжка атома Γ_i компонента i соотношением:

$$D_i = \alpha \delta^2 \Gamma_i. \quad (8)$$

Здесь параметр Γ_i определяется как:

$$\Gamma_i = \nu_K \exp \left(-\frac{\Delta G_K}{kT} \right),$$

где ΔG_K – энергия активации диффузии i -го компонента, а $\nu_K = \nu_0 \exp \left(\frac{S}{k} \right)$;

S – энтропия активации диффузии i -го компонента; ν_0 – частота собственных колебаний атомов.

Далее, в случае, если диффузия происходит в присутствии внешнего поля, выражение для частоты скачков будет выглядеть как:

$$\Gamma_{\pm K} = \Gamma_K \{ 1 \pm \delta_K \pm \Theta_K \}, \quad (9)$$

где знак «+» относится к частоте скачков по направлению внешнего поля, а знак «-» – против.

В частности, если диффузия происходит при наличии поля температурного градиента, члены, входящие в последнюю формулу, будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \delta_K &= \frac{b}{2} \frac{\partial \Delta(\nabla T / kT)}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x}, \\ \Theta_K &= -\frac{b}{2} \frac{q_K^*}{kT^2} \frac{\partial T}{\partial x}, \end{aligned} \quad (10)$$

где q_K^* – теплота переноса компонента i , т.е. количество теплоты, которое переносит диффундирующий атом, когда он перемещается на расстояние b в направлении поля температурного градиента.

Определим q_K^* . Разделим жидкую зону на ряд находящихся в состоянии термодинамического равновесия участков толщиной l .

Критерием оценки такой толщины является условие:

$$v_0^{1/3} \ll l \ll \left| \frac{\partial a_i}{\partial x} \frac{1}{a_i} \right|, \quad (11)$$

где v_0 – объем атома; a_i – некоторый параметр, зависящий от координаты (в нашем случае – это температура).

Далее рассмотрим две соседние подсистемы. Пусть из первой во вторую переходит какой-либо атом. Важной в термодинамике величиной является теплота изотермического изменения какого-либо внешнего параметра b_i – *скрытая теплота*.

$$\lambda_{bi} = \left(\frac{\partial Q}{\partial b_i} \right)_{b_i, t} = \left(\frac{\partial U}{\partial b_i} \right)_{b_i, t} + A_i. \quad (12)$$

Для нашего случая имеем:

$$\lambda_{bi} = q_K^* = dU|_{T,V} = TdS + \mu dN \quad (13)$$

$$dN = 1/N_A. \quad (14)$$

Химический потенциал i -го компонента в жидкой зоне μ_i можно определить как

$$\mu_i = \mu_i^{LO} + \left(\sum_{\substack{j=i \\ i \neq j}} \alpha_{ij}^L (C_j)^2 + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}} (\alpha_{ij}^L + \alpha_{ik}^L - \alpha_{kj}^L) C_{kj} \right) C_i, \quad (15)$$

где μ_i^{LO} – химический потенциал компонента i в стандартном состоянии; C_i – концентрация i -го компонента; C_{ij} – концентрация бинарного компонента ij в жидкой зоне; α_i^{LO} – параметр взаимодействия между компонентами i и j в жидкой зоне.

Энтропии образования регулярных растворов равны нулю, поэтому в (13) остается только член μdN . Если атом компонента перемещается на расстояние b и $\mu_i = f(x)$, то в конечном итоге получим:

$$q_K^* = \frac{\Delta \mu_i}{N_A}. \quad (16)$$

Найдем теперь зависимость температуры от координаты и времени из закона Фурье. Будем считать, что состояние теплового равновесия наступает в каждый момент времени мгновенно. Поскольку от точки к точке изменяется состав жидкой зоны, а следовательно, и коэффициент теплопроводности, то распределение температуры по толщине жидкой зоны не будет линейным. В этом случае решение уравнения Фурье имеет вид:

$$T(x) = A \int \frac{1}{\lambda(x)} dx. \quad (17)$$

Исходя из определения и произведя простые преобразования, можно получить следующее выражение для коэффициента теплопроводности λ :

$$\lambda = \frac{C_V \sum M_i C_i}{V_{pcm}^M} l^2, \quad (18)$$

где V_{pcm}^M – молярная масса растворителя. Наличие в формуле множителя l^2 не означает увеличения λ при выборе большей толщины l , так как поскольку граница зона – источник зафиксирована, то увеличение l приводит в общем случае к уменьшению суммы $\sum M_i C_i$ вследствие уменьшения концентрации компонентов при удалении от источника. Таким образом, температуру можно выразить как:

$$T = \frac{AV_{pcm}^M l^2}{C_V} \int \frac{dx}{\sum_i M_i C_i(x)}. \quad (19)$$

На границе зона – подложка происходит рост кристалла. Система уравнений, описывающих фазовое равновесие при эпитаксии пятикомпонентного твердого раствора, приведена в:

$$4C_i^L C_j^L \gamma_i^L \gamma_j^L = \exp \left[\ln(C_{ij}^S \gamma_{ij}^S) - \frac{\Delta S_{ij}^F (T_{ij}^F - T) - 0,5\alpha_{ij}^L - Q_{ij}}{RT} \right]. \quad (20)$$

Член Q_{ij} в этой формуле учитывает возникающие на гетерогранице напряжения. Выражение (20) позволяет определить состав растущего при эпитаксии слоя ПТР. Скорость роста эпитаксиального слоя можно определить из формулы:

$$v_K = \frac{N}{N^S} \frac{D_K \nabla T}{C_1^S - C_1^L} \cdot \frac{dC_1^L}{dT} \\ u = v_K \left(1 - \frac{N^S}{N} \right) + \sum_{i=1}^n D_i \frac{dC_1^L}{dx}, \quad (21)$$

где

$$D_K = (1 - C_1^S) \sum_{i=1}^n D_i \frac{\frac{dC_i}{dT}}{\frac{dC_1}{dT}} + C_1^S \frac{\sum_{i=2}^n D_i \frac{dC_i}{dT}}{\sum_{i=2}^n \frac{dC_i}{dT}}. \quad (22)$$

Формулы (22), (23) приведены с учетом приближения независимой диффузии. Кроме того, в приближении Тиллера для теории ЗПГТ допускается равенство количества атомов в единице объема в жидкой фазе у гра-

ницы кристаллизации и в кристаллизовавшемся слое твердого раствора: $N=N^S$. С учетом этого приближения скорость движения жидкой зоны u теряет первое слагаемое, и v_K можно не учитывать.

После вышеописанных вычислений мы имеем расчетные формулы для концентрации каждого компонента в любой плоскости жидкой зоны, нормальной к направлению массопереноса в ней, в каждый момент времени. Как уже было сказано выше, в результате процессов растворения источника и роста кристалла на подложке происходит непрерывное перераспределение поля температурного градиента по толщине сэндвича. По приведенным формулам возможны численные расчеты по следующему алгоритму:

- 1) В начале жидкая зона разбивается на определенное число отрезков.
- 2) Теплємкость каждого участка приравнивалась к теплємкости материала-растворителя жидкой зоны при температуре проведения процесса ЗПГТ.
- 3) Начальный коэффициент диффузии считается равным коэффициенту диффузии материала-растворителя жидкой зоны.
- 4) Выбирается шаг времени с таким расчетом, чтобы концентрация любого из компонентов на границе первого и второго участков жидкой зоны была меньше начальной концентрации этого компонента в определенное число раз.
- 5) Рассчитывается распределение теплового поля по толщине жидкой зоны.
- 6) На каждом шаге по времени рассчитывается коэффициент диффузии, концентрация компонентов на каждом участке и коэффициент теплопроводности исходя из аналогичных расчетов на предыдущем шаге.

Предложенный алгоритм применялся для расчета распределения температурного и концентрационных полей в жидкой зоне, а также распределения компонентов в растущей твердой фазе гетеросистем AlGaInAsP и AlGaInAsSb.

Данные гетеросистемы представляют интерес в качестве материалов для оптоэлектронной техники ИК-диапазона. ПТР $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{As}_z\text{Sb}_{1-z}/\text{GaSb}$ могут применяться для формирования элементной базы ИК волоконных линий связи на основе флюоридных стекол с низкими потерями ($\lambda=2,4\text{--}2,5$ мкм), слои $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{As}_z\text{P}_{1-z}/\text{InP}$ могут быть использованы в качестве инжекционных излучателей ИК-диапазона ($\lambda=1,37\text{--}1,41$ мкм). Таким образом, на основе данных пятикомпонентных гетероструктур можно создавать приборы электронной техники, применяемые в технической базе информационных систем.

Полученные нами гетероструктуры обладали хорошими структурными характеристиками, электрофизические параметры соответствовали заданным.

Результаты анализа позволяют сделать вывод об эффективности и целесообразности применения данного алгоритма расчета основных технологических параметров.

Заключение

Пятикомпонентные твердые растворы соединений $A^{III}B^V$ и гетероструктуры на их основе являются перспективными материалами для приборов электронной техники, применяемых в технической базе информационных систем. Представленный алгоритм расчета основных технологических параметров обеспечивает получение высококачественных материалов с заданными характеристиками.

Библиографический список

1. Кузнецов, В.В. Гетероструктуры на основе четверных и пятерных твердых растворов соединений $A^{III}B^V$ / В.В. Кузнецов, Л.С. Лунин, В.И. Ратушный. – Ростов н/Д. : Изд-во СКНЦ ВШ, 2003.
2. Лозовский, В.Н. Зонная перекристаллизация градиентом температуры полупроводниковых материалов / В.Н. Лозовский, Л.С. Лунин, В.Н. Попов. – М. : Металлургия, 1987.
3. Лозовский, В.Н. Пятикомпонентные твердые растворы соединений $A^{III}B^V$ / В.Н. Лозовский, Л.С. Лунин. – Ростов н/Д. : Изд-во Ростовского ун-та, 1992.
4. Старк, Дж.П. Диффузия в твердых телах / Дж.П. Старк. – М. : Энергия, 1980.
5. Шашков, А.Г. Волновые явления теплопроводности – системно-структурный подход / А.Г. Шашков, В.А. Бубнов, С.Ю. Яновский. – Минск : Навука і тэхніка, 1993.
6. Ши, Д. Численные методы в задачах теплообмена / Д. Ши. – М. : Мир, 1988.

РАЗДЕЛ 7

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

УДК 378:004.9

© Ханжонков Ю.Б., Семенов В.В., Фетисов В.М., Асцатуров Ю.Г., 2008

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ НА КАФЕДРЕ «ИНФОРМАТИКА» ВИС ЮРГУЭС

На примере кафедры «Информатика» описан опыт применения в Волгодонском институте сервиса компьютерных технологий для активизации студентов на лекционных, практических и лабораторных занятиях. Приведена методика использования компьютера для обучения и оценки знаний студентов.

Введение

На кафедре «Информатика» ВИС ЮРГУЭС успешно используются компьютерные технологии в учебном процессе. Особенность применения ЭВМ при проведении различных видов занятий можно показать на примере компьютерного обслуживания курсов «Технология и оборудование предприятий ремонта бытовой РЭА» и «Технологические процессы в сервисе». По данным курсам со студентами проводятся следующие виды занятий: лекции, лабораторные работы, практические занятия, внутрисеместровый контроль знаний. Ниже показано, как компьютерные технологии используются преподавателями и студентами при подготовке к указанным видам занятий.

В настоящее время практически каждый преподаватель имеет конспект лекций, представленный в электронном виде. Это позволяет достаточно легко редактировать текст конспекта, выводить на печать нужные фрагменты текста, хранить большие объемы информации в компактном виде. При этом студенты получают возможность пользоваться самой последней версией конспекта лекций преподавателя. Это особенно важно при дистанционном обучении или когда студент дневной формы обучения был вынужден пропустить занятия по уважительным причинам.

С помощью ЭВМ поставлен комплекс лабораторных работ, позволяющий студентам приобретать навык моделирования различных производственных ситуаций и находить оптимальные решения. Благодаря созданию виртуального образа аппаратуры имеется возможность исследовать большое количество видов аппаратуры, включая самые новые разработки. Виртуальное представление бытовой РЭА имеет главный недостаток, заключающийся в том, что в этом случае нет практики работы на реальной аппаратуре. Однако имеется существенное преимущество, состоя-

щие в том, что отсутствуют расходы на приобретение аппаратуры различных типов.

Эффективно также применение ЭВМ при обучении студентов решению задач на практических занятиях. После объяснения алгоритма решения задачи преподаватель раздает студентам бланки с условием задачи. При этом в каждом бланке компьютер с помощью генератора случайных чисел создает уникальный набор исходных данных к задаче. В результате каждый студент получает индивидуальное задание. Начальная установка генератора случайных чисел определяется номером группы и номером контрольного задания. После того как студенты выполнили решение задачи, преподаватель забирает у них бланки заданий с результатами решения, а затем с помощью компьютера производит решение задач и сверяет полученное решение с теми данными, которые приведены студентами в бланках условий задачи. Студент, неправильно решивший задачу на практических занятиях, имеет возможность получить от преподавателя правильный вариант решения задачи, сверить его со своим решением и определить место, где была допущена ошибка, чтобы в дальнейшем не допускать этой ошибки.

Внутрисеместровый контроль знаний студентов связан с внедренной в ЮРГУЭС рейтинговой системой. Сущность этой системы состоит в том, что в течение семестра в студенческих группах проводятся контрольные точки, где студенты получают промежуточные оценки по изучаемой дисциплине. В конце семестра преподаватель может выставить итоговую оценку по результатам контрольных точек, если студент не изъявит желание увеличить свою оценку путем сдачи зачета или экзамена. Рейтинговая система оценки знаний удобна студентам тем, что каждый студент может прогнозировать свою оценку за семестр и, если это необходимо, увеличить ее путем переписывания заданий контрольных точек. Контрольные точки в курсах «Технология и оборудование предприятий ремонта бытовой РЭА» и «Технологические процессы в сервисе» проводятся по материалам лекционных и практических занятий. Для проведения внутрисеместрового контроля знаний по лекционному материалу создана база данных вопросов и ответов. Во время контрольной точки студентам раздают бланки контрольных заданий, в котором случайным образом сформированы пять вопросов по прочитанному лекционному материалу. В бланках контрольных заданий возле каждого вопроса проставлен номер этого вопроса в базе данных, чтобы преподаватель, когда он будет проверять контрольные задания, смог по номеру вопроса вызвать на экран дисплея ответ на заданный вопрос. Вопросы составлены так, чтобы ответ на него не допускал раз-

личных толкований. Это могут быть определения различных терминов или явлений, формулы для расчета каких-либо параметров, а также перечисления влияющих факторов или составных элементов. В результате преподаватели имеют возможность быстро готовить индивидуальные контрольные задания для студентов как дневной, так и заочной форм обучения.

Студенту на контрольной точке разрешается пользоваться конспектом лекций и любыми принесенными с собой материалами. Это исключает необходимость преподавателю следить за списыванием, что очень затруднительно, когда лекционный поток составляет около сотни студентов. Объективность контроля знаний студентов в этом случае обеспечивается следующим образом. Во-первых, каждому студенту выдается индивидуальное, т.е. неповторимое в данной студенческой группе, задание, что исключает полное переписывание у других студентов. Во-вторых, ограничено время на выполнение контрольного задания. Если студент пишет контрольную работу первый раз, ему для этого предоставляется 30 минут. При повторных выполнениях данной контрольной работы с целью увеличения своей оценки или в результате пропуска предыдущего занятия без уважительной причины студенту выделяется 15 минут. Это стимулирует студентов основательно готовиться к первому контрольному занятию. Опыт показывает, что за 15 минут можно написать контрольную работу на высокую оценку только при хорошей подготовке к этой контрольной работе. Для облегчения работы преподавателя при проверке контрольных заданий разработана компьютерная программа, позволяющая по номеру вопроса представлять на экране дисплея ответ на этот вопрос. Следовательно, компьютер позволяет значительно увеличить производительность труда преподавателя при проверке контрольных заданий. Оценка за контрольную работу равна количеству правильных ответов в контрольном задании.

1. Опыт применения компьютерной программы для активизации проведения практических занятий со студентами

Решение задач по отдельным темам изучаемого курса является одной из форм проведения практических занятий со студентами. Хорошо поставленная задача позволяет студенту ознакомиться с различными ситуациями, которые могут встретиться в его практической деятельности, помогает научиться выбирать оптимальные варианты в условиях множественности решений и др. Поэтому очень важно использовать ЭВМ не только в качестве инструмента, формирующего индивидуальные контрольные задания, но и консультанта, полезного как преподавателю, так и студентам.

Компьютерная программа, разработанная преподавателями кафедры, позволяет выдавать на дисплей, принтер или в память компьютера следующую информацию:

- индивидуальные контрольные задания студентам по задачам практических занятий;
- краткие условия задач и результаты их решений;
- полные условия задач и подробные описания их решений.

Индивидуальные контрольные задания преподаватель распечатывает на бумаге перед проведением контрольной работы по выбранной теме. В каждом задании имеется неповторяющийся набор исходных данных. Чтобы эти задания можно было при необходимости воспроизвести заново, задается начальная установка генератора случайных чисел по номеру группы студентов.

Краткие условия задач и результаты их решений преподаватель выводит на экран дисплея при проверке контрольных работ студентов. При этом выводится номер контрольного задания и некоторые цифровые данные, присутствующие в условии задачи, а также результаты решения этой задачи. Решение задач практических занятий на компьютере позволяет существенно ускорить процесс проверки контрольных работ студентов. Если аудитория, где преподаватель проверяет контрольные работы, не оборудована компьютерами, то вывод кратких условий задач и результатов их решений предварительно преподавателем выполняется на бумагу.

Вывод полного условия задачи и подробного описания ее решения требуется в двух случаях. Во-первых, когда преподаватель готовится к занятию, где необходимо объяснить студентам методику решения задачи, подкрепив объяснение примером решения задачи с произвольными данными. Во-вторых, когда студент считает, что он правильно решил задачу, в то время как его результат решения не совпадает с машинным вариантом. При этом создается текстовый файл подробного решения нужного студенту варианта задачи. Студент в компьютерном классе сравнивает собственное решение задачи с текстовым файлом, находит ошибку и анализирует ее. В случае необходимости студент получает консультацию преподавателя и новый бланк условия данной задачи.

Структурная схема компьютерной программы для четырёх задач показана на рисунке 1.

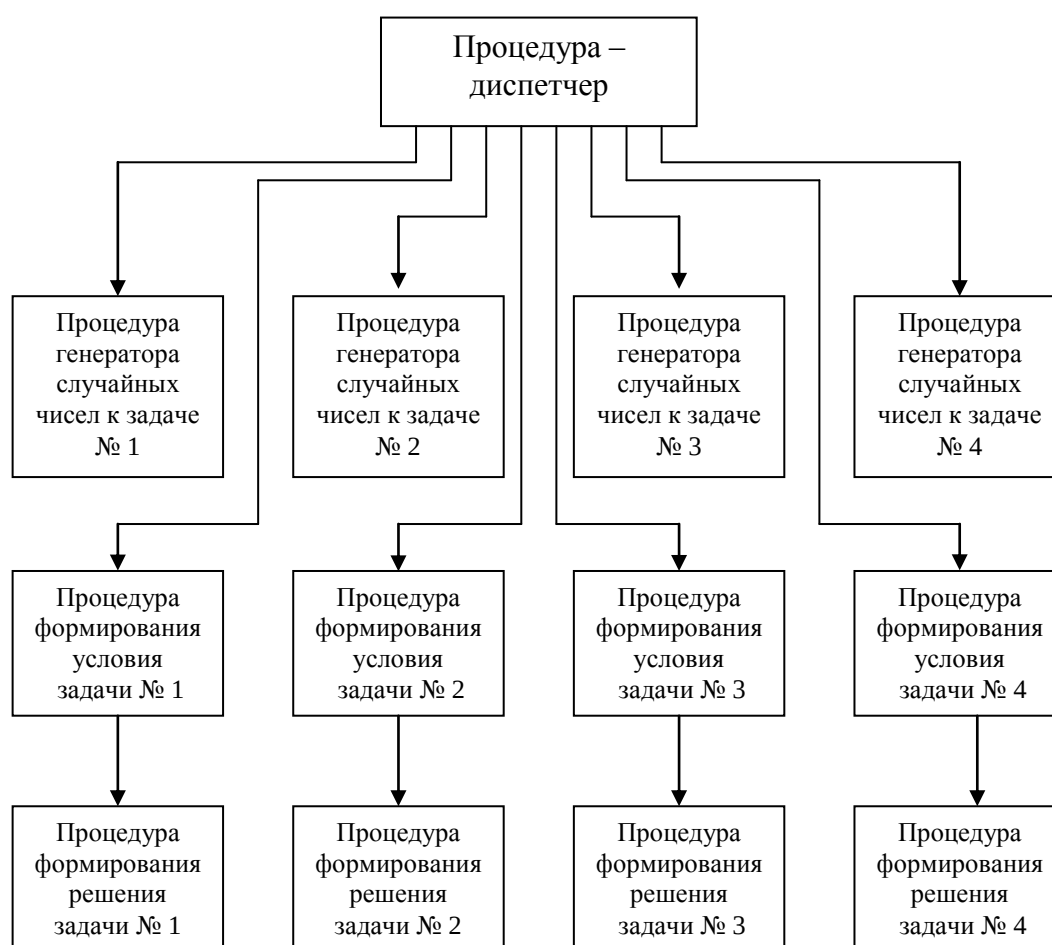


Рис. 1. Структурная схема компьютерной программы

Управление всей программой осуществляет процедура «диспетчер». В этой процедуре сосредоточены все меню выбора режимов работы программы. В зависимости от номера выбранной задачи процедура «диспетчер» включает соответствующий генератор случайных чисел, который передает сгенерированные цифровые значения в память компьютера.

Если выбран режим выдачи заданий для студентов, то после генератора случайных чисел в работу включается соответствующая процедура формирования условия задачи. Причем в процедуру формирования условия задачи передается информация о том, сколько надо выдать контрольных заданий. Если выбран режим решения контрольных заданий, то после отработки процедуры генератора случайных чисел и процедуры формирования условия задачи включается процедура решения задачи. В зависимости от установок меню в процедуре «диспетчер» процедура решения задачи может выдать полное или краткое решение одной задачи или несколько вариантов задач.

2. Применения компьютерных технологий в условиях рейтинговой оценки знаний студентов

В условиях рыночных отношений вузам ежегодно приходится корректировать количество специальностей и специализаций. При этом лекторам курсов необходимо оперативно перестраивать структуру читаемого курса в зависимости от требований государственного образовательного стандарта конкретной специальности.

Действующая во многих вузах рейтинговая система оценки знаний студентов предполагает проведение нескольких контрольных точек (аттестаций) в течение семестра. При этом преподавателю требуется для каждой группы студентов разрабатывать комплект контрольных заданий в зависимости от объема пройденного материала. Для облегчения этой работы авторами разработана компьютерная программа `lekz.exe`.

Программа `lekz.exe` может работать в следующих режимах:

- ввод названия вуза;
- ввод названий дисциплин;
- преобразование текстового файла в `dbf`-файл;
- вывод контрольных заданий;
- проверка контрольных заданий;
- вывод экзаменационных билетов;
- вывод списка вопросов;
- вывод вопросов и ответов;
- преобразование `dbf`-файла в текстовый файл.

Первые два режима используются для предварительной настройки программы. Перед началом работы с программой `lekz.exe` на данном компьютере необходимо по адресу `C:\КТ\` создать таблицы базы данных, содержащие:

- название вуза, фамилия и инициалы заведующего кафедрой;
- список преподаваемых дисциплин и соответствующие им имена таблиц вопросов и ответов, фамилия и инициалы преподавателей, ведущих данные дисциплины;
- вопросы и ответы контрольной точки.

Таблица, содержащая название вуза и фамилию заведующего кафедрой, создается в режиме работы программы «ввод названия вуза». При этом допускается не только ввод данных, но и их редактирование. Если преподаватель работает в нескольких вузах, то в таблице можно создать несколько записей с указанными данными. Эта таблица используется программой при формировании экзаменационных билетов.

Таблица, содержащая список преподаваемых дисциплин и соответствующие им имена таблиц вопросов и ответов, а также фамилии и инициалы преподавателей, ведущих данные дисциплины, заполняется в режиме «ввод названий дисциплин». Список преподаваемых дисциплин использу-

ется программой для формирования меню изучаемых дисциплин. Список имен таблиц вопросов и ответов используется при поиске нужной таблицы в базе данных. Фамилии и инициалы преподавателей, ведущих данные дисциплины, используются программой при формировании экзаменационных билетов.

Количество таблиц вопросов и ответов равно общему количеству контрольных точек по всем читаемым курсам. Для создания такой таблицы преподаватель на базе своего конспекта лекций формирует текстовый файл вопросов и ответов, фрагмент которого показан на рисунке 2.

```
*****
Дайте определение понятию "Информационные технологии"?
Информационные технологии – это механизированные спосо-
бы обработки, хранения, передачи и использования инфор-
мации.
*****
Что включает в себя понятие "Технология"?
Понятие технологии включает комплекс научных и инженер-
ных знаний, воплощенных в приемах труда, наборах мате-
риальных, технических, энергетических, трудовых факто-
ров производства и способы их соединения для создания
продукта или услуги, отвечающих определенным требовани-
ям.
*****
В чем состоит функциональное назначение информационных
технологий?
Функциональное назначение информационных технологий как
раз и состоит в переработки информации с помощью ЭВМ и
```

Рис. 2. Фрагмент текстового файла вопросов и ответов

Как видно из рисунка 2, структура файла представляет собой набор групп вопросов и ответов. Группы разделяются между собой служебной строкой из набора звездочек. Вопрос обязательно должен заканчиваться знаком вопроса.

В режиме «преобразование текстового файла в dbf-файл» происходит автоматическое преобразование текстового файла в таблицу базы данных, содержащую вопросы и ответы контрольной точки. Имя полученного dbf-файла состоит из текстовой и цифровой частей. Текстовая часть берется из таблицы, содержащей список преподаваемых дисциплин и соответствующие им имена таблиц вопросов и ответов, а цифровая часть равна номеру контрольной точки.

Перед проведением контрольной точки преподаватель включает программу lekz.exe в режим «вывод контрольных заданий» и производит печать на бумаге нужного количества билетов. Вид билета для контрольной

точки № 1 показан на рисунке 3. В каждом билете содержится пять вопросов, которые выбираются компьютером из базы данных с помощью генератора случайных чисел. Слева от каждого вопроса проставлен его порядковый номер в базе данных. Ответы студентов на поставленные в билете вопросы принимаются только в письменном виде. При этом студент вопрос не переписывает, а указывает его номер в базе данных и затем пишет ответ.

Проверка выполненных контрольных заданий в режиме работы программы «проверка контрольных заданий». Преподаватель набирает на клавиатуре компьютера номер вопроса в базе данных, и на экране дисплея появляется ответ на данный вопрос, как он изложен в конспекте лекций. Преподаватель сравнивает этот ответ с тем, что ответил на данный вопрос студент, и делает вывод о правильности ответа студента. Оценка по контрольной точке равна количеству правильных ответов.

Группа 41	Контрольное задание №1	03. 03. 07
по дисциплине: Проектирование процессов оказания услуг		
Билет №17		
72	Нормативная площадь помещения для складов?	
34	Что является важнейшим условием эффективной организации эксплуатации и обслуживания оборудования?	
46	Какие проектные решения разрабатываются для эффективной работы персонала строящегося предприятия в периоды подготовки к пуску, пуска и освоения проектной мощности?	
10	Что должно предусматривать архитектурно-художественное решение производственных и вспомогательных зданий?	
38	По каким функциям должно осуществляться проектирование обслуживания рабочих мест?	

Рис. 3. Вид билета для контрольной точки

В режиме «вывод экзаменационных билетов» программа обеспечивает вывод на принтер или в файл заданного количества экзаменационных билетов, а в режиме «вывод списка вопросов» выводится список вопросов, содержащихся по данной дисциплине в базе данных.

Режим «вывод вопросов и ответов» используется для печати списка вопросов и ответов в тех случаях, когда приходится проверять контрольные задания без компьютера, например, в командировке в филиал вуза.

Когда необходимо произвести корректировку вопросов или ответов, используют режим «преобразование dbf-файла в текстовый файл». При этом из таблицы вопросов и ответов базы данных создается текстовый файл в формате, показанном на рисунке 2. Такой файл удобен для корректировки в текстовом редакторе.

Таким образом, компьютерная программа `lekz.exe` позволяет:

- 1) автоматизировать процесс создания базы данных вопросов и ответов для проведения контрольной точки по конкретному изучаемому курсу;
- 2) формировать индивидуальные контрольные задания студентам по материалам прочитанных лекций;
- 3) выводить на экран дисплея правильный ответ на заданный вопрос;
- 4) выводить на машинный или бумажный носитель список вопросов контрольной точки; список вопросов и ответов контрольной точки, комплект экзаменационных билетов по данной дисциплине.

Следует также отметить, что благодаря привязке изучаемого курса к фамилии конкретного преподавателя имеется возможность коллективного использования программы преподавателями определенной кафедры. Вывод билетов для контрольной точки предусмотрен в формате DOS, что позволяет использовать матричный принтер, который не критичен к качеству бумаги. Программа `lekz.exe` компактна (355 кБ) и может применяться в любой операционной системе. Таблицы базы данных, обслуживающие программу `lekz.exe`, имеют `dbf`-формат и расположены всегда по адресу `C:\KT\`. Объем таблиц зависит от объема размещенной в них информации, который определяется пользователями.

Опыт применения программы `lekz.exe` в течение трех лет показал, что она позволяет значительно уменьшить трудоемкость подготовки контрольных заданий в условиях постоянного изменения и корректировки учебных планов.

3. Использование компьютеров при самоподготовке студентов

Компьютер является мощным средством хранения и сортировки информации. Это обстоятельство позволяет использовать персональные ЭВМ при самоподготовке студентов, особенно студентов заочного факультета, которые часто испытывают дефицит технической литературы и учебников. В то же время многие студенты имеют персональные ЭВМ в личном пользовании или имеют доступ к ним на работе, поэтому внедрение компьютерных технологий в учебный процесс в ряде случаев осуществлялось по инициативе студентов.

Помощь студентам заочного факультета в изучении теоретического материала осуществляется путем предоставления им возможности записи на машинные носители для последующего изучения по месту жительства следующей информации:

- методические пособия, где излагаются конспекты лекций преподавателей;
- методические указания с изложением методик решения задач;

- конспекты новых лекций, разработанных в связи с изменением рабочих программ и еще не вошедших в методические пособия;
- справочные сведения – рабочие программы, вопросы экзаменационных билетов и др.;
- тестовые программы, позволяющие студенту самому определить, на какую оценку он знает данный предмет.

Для студентов нашего вуза вошло в норму то, что, приезжая на учебные сессии, они привозят дискеты для получения необходимой информации от преподавателей или в компьютерном классе. Такой обмен информацией не требует от учебного заведения затрат на полиграфические издания учебных материалов, что особенно важно в условиях ограниченного финансирования высшей школы. Все это, естественно, не отрицает использование студентами печатной учебной продукции, содержащейся на кафедрах и в библиотеке нашего вуза.

При изучении методик решения задач по изучаемой дисциплине студенты пользуются не только соответствующими методическими указаниями, но и специальными обучающими компьютерными программами. Обучающая программа может выполнять решение задачи с произвольным набором исходных данных. При этом по желанию студента может быть создан текстовый файл, где подробно объясняется каждый шаг решения задачи. Чтобы исключить использование студентом обучающей программы при выполнении контрольной работы, исходные данные к задачам в обучающей программе и в задании для контрольной работы имеют различные области значений.

Опыт применения компьютерных носителей информации для передачи студентам учебного материала на кафедре «Информатика» показал следующие результаты:

- студенты с одобрением относятся к тому, что на кафедре можно получить файл с необходимой информацией. Это исключает зависимость от наличия в библиотеке необходимого книжного фонда, а также имеется возможность получить свежую информацию, которая еще не вошла в методические пособия или методические указания;
- наличие у студента программы, которая может описать методику решения данной задачи с любым произвольным набором исходных данных, позволяет быстро находить ошибки, допущенные студентом при решении задачи. Некоторые студенты предпочитают самостоятельно разрабатывать программы для решения задач с тем набором исходных данных, который задан в условии контрольной работы. Мы считаем это полезным фактором, так как, чтобы составить программу решения задачи, надо хорошо знать методику ее решения;

- применение студентами вычислительной техники при решении задач позволяет преподавателю усложнять контрольные работы и приближать их содержание к ситуациям, которые студент может встретить в своей трудовой деятельности. Например, по дисциплине «Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры» около половины задач требует определения оптимального варианта поиска неисправностей в аппаратуре или оптимальной организации технологического процесса ее ремонта.

Результаты применения компьютерных технологий в учебном процессе дают нам основание полагать, что эти технологии способствуют более эффективному усвоению студентами учебного материала и работы в этом направлении следует продолжать.

4. Применение ЭВМ в качестве лабораторного стенда

Проведение лабораторных работ по курсу «Технологические процессы в сервисе» предполагает наличие в учебной лаборатории современной бытовой радиоэлектронной аппаратуры, на которой студенты должны учиться практически реализовывать различные алгоритмы поиска неисправностей. Однако в условиях недостаточного финансирования системы образования в нашей стране приобретение для учебных целей различных образцов современной бытовой РЭА является сложной проблемой.

На кафедре «Информатика» разработана компьютерная программа для проведения комплекса лабораторных работ по курсу «Технологические процессы в сервисе». При этом с помощью персональной ЭВМ имитируется лабораторный стенд, включающий комплект радиоизмерительных приборов и исследуемую бытовую РЭА. Сущность этого метода состоит в том, что в память ЭВМ записываются заранее рассчитанные или определенные опытным путем значения параметров электронной схемы при различных видах неисправностей. Используя эти данные, а также необходимые аналитические зависимости, вычислительная машина контролирует результаты проведенных студентами расчетов на каждом этапе выполнения лабораторной работы. В случае значительного расхождения результатов расчетов студента и ЭВМ, студенту указывается на ошибку и предлагается принять меры по ее исправлению.

В качестве примера рассмотрим основные этапы выполнения студентом лабораторной работы «Определение неисправного функционального элемента РЭА».

На первом этапе ЭВМ предлагает студенту одну из схем бытовой РЭА, хранящуюся в ее памяти. Студент должен проанализировать предложенную принципиальную электрическую схему РЭА, условно разбить ее на функциональные элементы и ввести в ЭВМ обозначения радиоэлементов, входящих в каждый функциональный элемент. ЭВМ анализирует предложенную студентом разбивку схемы на функциональные элементы с

точки зрения выполнения правил формирования и взаимодействия функциональных элементов, соглашается с данной разбивкой схемы или указывает студенту на его ошибки.

На втором этапе студенту необходимо рассчитать параметры надежности функциональных элементов с учетом режимов работы радиоэлементов. Для этого вначале следует определить коэффициенты загрузки всех радиоэлементов исследуемой бытовой РЭА, используя информацию о значениях напряжений на радиоэлементах, содержащуюся на принципиальных электрических схемах, а в случаях, когда такой информации нет на схеме, произвести необходимые расчеты. Для определения напряжений на конденсаторах и мощностей рассеяния на других радиоэлементах целесообразно применить специализированную компьютерную программу Pspice, которая позволяет рассчитать широкий спектр параметров электронной схемы. После определения коэффициентов загрузки радиоэлементов вычисляют значения интенсивностей отказов, вероятностей безотказной работы и др. параметров функциональных элементов. ЭВМ контролирует правильность проведенных расчетов и при наличии ошибки студенту сообщается об этом и предлагается скорректировать проведенные расчеты.

На третьем этапе рассчитываются алгоритмы поиска неисправностей до уровня функционального элемента по методу половинного разбиения, методу «время – вероятность» и инженерному методу. По результатам сравнения различных алгоритмов выбирается наиболее оптимальный. Критерием оптимальности является минимальное среднее время поиска неисправностей. Чтобы проконтролировать правильность проведенных студентом расчетов, ЭВМ запрашивает параметры алгоритмов поиска неисправностей и при необходимости предлагает студенту скорректировать расчеты.

На четвертом этапе выбираются диагностирующие параметры и средства их измерения. Выбор средств измерения также контролируется ЭВМ, которая следит за тем, чтобы методическая ошибка, обусловленная внутренним сопротивлением измерительных приборов, не превышала допустимых значений.

На пятом этапе студент, пользуясь выбранным алгоритмом поиска неисправностей, находит отказавший функциональный элемент. Для этого студент запрашивает у ЭВМ значения диагностирующих параметров в определенных контрольных точках. ЭВМ сообщает студенту значения диагностирующих параметров с учетом инструментальной и методической погрешностей применяемых средств измерения. В результате диалога «человек-машина» осуществляется пошаговая реализация алгоритма поиска неисправностей.

Преимуществом применения ЭВМ на лабораторных занятиях является то, что студент не только получает практические навыки работы с моделью реальной аппаратуры, но и обучается таким приемам работы, когда количество субъективных ошибок минимально.

Заключение

Использование активных методов обучения повышает его качество, способствуя не только усвоению знаний, но и формированию умений эффективного поведения, способствует развитию системного мышления. Вместе с тем, не следует преуменьшать значения традиционных методов обучения (лекции, семинары). Обозначим критерии применения активных методов обучения (АМО):

1. Соответствие метода целям и задачам обучения (занятия).
2. Соответствие содержанию данной темы.
3. Соответствие принципов обучения (диалогичность, индивидуальный подход, проблемность и др.) применяемым методам.
4. Соответствие психологическим и возрастным особенностям обучаемых, уровню подготовленности (профессиональной, интеллектуальной).
5. Соответствие организационным, временным и финансовым условиям (затраты на АМО больше, чем на традиционные методы обучения).
6. Соответствие возможностям преподавателя (наличие опыта участия и проведения АМО, личностные особенности, владение технологиями образовательного процесса).

Подводя итоги вышесказанному, следует отметить, что в применении активных методов обучения заинтересованы как преподаватели, так и студенты. Поэтому работы в этом направлении мы будем развивать и совершенствовать.

Библиографический список

1. Активные методы обучения студентов вузов : межвуз. сб. ст. – Ленингр. лесотехническая академия. – Л. : ЛТА, 1987.
2. Бокуть, Б.В. Вузовское обучение / Б.В. Бокуть. – Минск : Университетское, 1989.
3. Вербицкий, А.А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход / А.А. Вербицкий. – М. : Высшая школа, 1991.

УДК 37:001.895

© Курейчик В.М., Писаренко В.И., 2008

ИННОВАЦИОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В КОНТЕКСТЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПАРАДИГМЫ

Введение

Успешное будущее России ассоциируется с инновационным развитием. Официальная точка зрения на инновационное развитие ориентирована на нелиберальную концепцию и подражание зарубежным образцам. Это

подразумевает рассмотрение инноваций как нововведений, нашедших место на современном российском рынке. Многие ученые считают этот путь тупиковым [13]. Инновации в современной России призваны обеспечить решение стратегических задач по постепенному переходу страны на траекторию прогрессивного устойчивого развития, а не по «заполнению рынка», «обеспечению макроэкономической стабилизации» и т.д. [13]. По мнению ряда исследователей [13], большинство инноваций, имеющих жизненно важное значение для России, имеют нерыночный характер. Инновации необходимы для выживания страны. Инновации в области образования имеют особый характер.

Преобразования, наблюдаемые во всех сферах жизни страны, предъявляют ряд требований к системе образования в целом, направленных на воспитание поколения, которое будет осуществлять свою жизнедеятельность в новых условиях. Переход к системе рыночных отношений вызывает появление проблем, связанных с перераспределением рабочей силы на рынке труда, безработицей и т.д. Перестройка массового сознания происходит медленнее, чем внедрение рыночных отношений, поэтому данные процессы порождают проблемы не экономического, а социального характера. Пути решения данных проблем должны рассматриваться в рамках реализации определенной стратегии развития образования, основанной на социально-экономических особенностях региона, в котором находится образовательное учреждение, динамики рынка образовательных услуг. Изучение зарубежного опыта показывает, что в мировом пространстве решается стратегическая задача формирования образованного общества, создания образовательной среды. Решение этой задачи не может быть сведено к отраслевой реформе, к узковедомственным преобразованиям. Образовательная среда не является совокупностью образовательных учреждений разных типов и ступеней системы образования. Это более сложный феномен, посредством которого решается задача превращения образования в средство развития общества.

В частности, обеспечение удовлетворения всех слоев населения в образовательных услугах ставит проблему формирования и развития образовательных систем в число важнейших и актуальных. Осуществляемые реформы затрагивают все звенья системы образования (и не только образования) и направлены на то, чтобы обеспечить необходимые условия для обучения и развития человека на протяжении всей его жизни.

Переход на рыночную экономику привел к радикальному изменению горизонтальных и вертикальных связей, существовавших в образовательной системе. В настоящее время требуются новые подходы к организационному, экономическому, педагогическому, методическому и технологическому переоснащению образования. Поэтому возникла потребность в принципиально новых формах работы образовательной системы.

Исследования многих ученых и педагогическая практика показали, что одним из эффективных путей решения этой проблемы является научно обоснованное, осмысленное, массовое **инновационное движение в образовании**, опирающееся на отечественные и мировые тенденции, передовой опыт и традиции (В.Н. Аверкин, В.И. Боголюбов, В.А. Бордовский, М.С. Бургин, К.Я. Вазина, А.П. Волчков, Б.О. Гершунский, П.Д. Дмитриев, В.В. Загвязинский, В.А. Кан-Калик, М.В. Кларин, Т.М. Ковалева, В.В. Краевский, Л.В. Куриленко, В.Г. Лазарев, В.Б. Моисеев, Н.Ш. Никандров, М.М. Поташник, А.М. Саранов, А.А. Скамницкий, Т.В. Светенко, Т.М. Чурекова, Р. Юсуфбекова, И.О. Яковлева и др.). На наш взгляд, перспективность инноваций в современном образовательном пространстве зависит от того, насколько методологические основания инноваций соответствуют современной научной картине мира.

Современное социокультурное пространство, в котором функционирует система образования, богато разнообразным наполнением. Многочисленные социальные системы, традиционно существующие и вновь появившиеся, взаимодействуют между собой, вступают в определенные отношения, пребывают в состоянии постоянной деятельности. Сочетание традиций и инноваций – главная социокультурная норма отношений старого и нового, исключая их противопоставление и утверждающая их дополнительность. Преобладание традиций чередуется с приоритетом инноваций. Среди факторов, определяющих инновационное состояние современного социокультурного пространства, следует выделить те, в основе которых лежит **синергетическая парадигма жизнедеятельности социума**.

Изучение самых разнообразных природных явлений привело научную мысль к осознанию того, что вся природа подвержена непрерывной эволюции. Изменения происходят на всех уровнях материальных структур. В природе в целом непрерывно происходит увеличение разнообразия и сложности. Смысл такого развития состоит в «поисках» природными системами состояния с все большей устойчивостью. Идея о глобальном эволюционном процессе, который, охватывая Вселенную, определяет эволюционность всех ее подсистем и сходство наиболее общих закономерностей всех эволюционных процессов, составляет содержание **концепции универсального эволюционизма**, утвердившегося в современной науке [1].

В процессе рассмотрения системных аспектов развития человека, его роли в эволюции расширяющихся систем представители системного подхода обращаются к тем закономерностям, которые выявлены на уровне конкретно-научной методологии науки – в истории, этнологии, культурологии, социологии, семиотике, эволюционной биологии. Причина обращения к этим внешне не связанным наукам заключается в том, что в них обнаружены общесистемные закономерности.

Одна из функций общенаучного системного анализа как раз и состоит в том, что с его помощью из конкретных наук о природе и обществе выделяются общие закономерности развития любых систем и таким образом реализуется взаимодействие между различными науками о человеке.

В данной работе рассматриваются основы формирования методологии современного инновационного образования в соответствии с динамикой научной картины мира и синергетической парадигмой, успешно развивающейся в современной науке.

Историко-эволюционный подход как основа методологии

Эволюционный подход в науках о человеке означает необходимость изучения человека в процессе эволюции порождающей его системы. Необходимо не просто говорить о развитии, а ставить проблему эволюционного смысла возникновения того или иного явления в порождающей его системе. Например, каков эволюционный смысл появления новых видов в биологической эволюции или рас и разных этнических групп (племен, наций) в истории человечества; в чем эволюционный смысл возникновения новых органов в филогенезе определенного вида или формирования неповторимого характера в индивидуальном жизненном пути личности? Исследование закономерностей развития биологических и социальных систем, механики развития будет неполным до тех пор, пока не раскрыт тот эволюционный смысл, для обеспечения которого осуществляется вся механика развития, например, функционируют механизмы естественного отбора (Н.А. Бернштейн, А.Н. Северцов, И.И. Шмальгаузен, С.Н. Давиденков).

Эволюционный анализ развития в науках о человеке базируется на положении о необходимости исследования феномена человека в процессе эволюции порождающей его системы.

Целесообразность исследования развития человека на основе закономерностей эволюционного процесса в природе и обществе подтверждена трудами таких исследователей, как Б.Г. Ананьев, Л.С. Выготский, А.Н. Леонтьев, А.Р. Лурия, С.Л. Рубинштейн, Д.Н. Узнадзе и др. В физиологии высшей нервной деятельности проблема системного развития целостного человеческого организма была разработана автором теории функциональных систем П.К. Анохиным. Подчеркивая универсальность структуры функциональных систем, П.К. Анохин отмечал, что «все функциональные системы, независимо от уровня своей организации и от количества составляющих их компонентов, имеют принципиально одну и ту же функциональную архитектуру, в которой результат является доминирующим фактором, стабилизирующим организацию систем» [4]. Оригинальные взгляды на закономерности развития личности в социальной группе с позиции теории эволюции сформулированы социальным психологом Т. Кэмпбеллом [17].

В системном подходе к исследованию развития человека все более концентрируется внимание на общих закономерностях эволюционного процесса, открытых в научной школе эволюционной биологии А.Н. Северцова и И.И. Шмальгаузена. Соответственно, возникают проблемы установления критериев прогресса биологических и технических саморегулирующихся систем (К.М. Завадский, В.И. Варшавский, Д.А. Поспелов), эволюционных закономерностей антропосоциогенеза и этнических общностей (В.П. Алексеев, С.А. Арутюнов, Л.М. Дробижева, Ю.В. Бромлей, Т.П. Григорьев), универсальных механизмах эволюции культуры (Э.С. Марканян). Важным этапом на пути изучения общих закономерностей *коэволюции* – гармоничного взаимообусловленного развития природы и общества – стали исследования последователя В.И. Вернадского Н.Н. Моисеева, обобщенные в его труде «Алгоритмы развития» (1987) [18].

Учение о существовании двух различных форм прогресса в эволюции – биологического и морфофизиологического было разработано классиком эволюционной биологии А.Н. Северцовым [14–16]. Смысл биологического прогресса заключается в изменении образа жизни и положения вида животных в биосфере; морфофизиологического прогресса – в изменении строения и функций тела животных. Дифференциация двух типов прогресса позволила изменить мышление исследователей об эволюционном процессе и перейти от организмоцентрического изучения развития к системному видению закономерностей эволюционного процесса.

Перенос эволюционных биологических закономерностей на историю развития общества часто подвергается критике. Однако А.Н. Северцову принадлежит открытие возможности относительно независимой эволюции образа жизни, являющегося системообразующим основанием развития вида, от морфофизиологической эволюции организмов, доминирующей в органическом мире [14]. Образ жизни определяет положение вида в системе биосферы. Дальнейший путь эволюции в направлениях *ароморфоза*, *идеоадаптации* или *регресса* зависит от образа жизни вида. По А.Н. Северцову, *ароморфоз* представляет собой прогрессивную эволюцию образа жизни, приводящую к появлению у вида новых качеств, которые повышают уровень жизнедеятельности вида, расширяют его приспособительные возможности и смогут оказаться полезны в случае критических изменений среды обитания живых существ.

Под *идеоадаптацией* А.Н. Северцов понимал специализацию вида, обеспечивающую наилучшую приспособленность к типичным условиям его существования. Если эволюция идет в направлении идеоадаптации, частных приспособлений, то образ жизни вида качественно не изменяется. Ароморфоз же или преадаптация может привести к новому образу жизни вида, то есть повлечь за собой *смену* системообразующего основания, определяющего основные характеристики данного вида [15].

На уровне методологии описанные А.Н. Северцовым закономерности прогресса эволюции были обобщены и развиты в исследованиях К.М. Завадского, а также В.И. Варшавского и Д.А. Поспелова. В этих работах, придавших идеям А.Н. Северцова более универсальное звучание, подчеркивается, что возникновение и прогрессивное развитие любой эволюционирующей системы осуществляется благодаря процессам ее интеграции и дифференциации – синтезогенезу и сегрегациогенезу (К.М. Завадский). По Завадскому, объединение элементов в единое целое, то есть рождение систем. В процессе эволюции формы, живущие изолированно, были потеснены многочисленными формами с групповым образом жизни. Ход эволюционного процесса как бы осуществил экспериментальную проверку преимуществ групповых форм жизни по сравнению с изолированными формами жизни. Вместе с тем, эта победа приводит к постановке вопросов: в чем эволюционный смысл процесса синтезогенеза – объединения в системы отдельных элементов, какого рода сообщества могут считаться системами, обеспечивающими дальнейшее развитие вида?

Синтезогенез представляет собой такое объединение разрозненных элементов в систему, которая открывает возможность решения задач, ранее не доступных ни одному из составивших систему элементов. Именно идеи синтезогенеза позволяют наметить пути понимания эволюционного смысла возникновения человеческого общества.

Наряду с синтезогенезом, приводящим к возникновению объединений, решающих широкие классы задач, в эволюции также идет процесс вычленения подсистем, входящих в системы, то есть процесс дифференциации систем. Появляются подсистемы – узкие специалисты, обладающие возможностью делать только одно дело, но с высокой степенью эффективности. Этот путь развития К.М. Завадский определил как сегрегациогенез. В ходе эволюции биологических, социальных, технических и других систем наблюдаются множественные проявления сегрегациогенеза как пути развития, ведущего к прогрессу, позволяющего оптимально решать типовые задачи. Однако, как отмечает А. Асмолов, «...специализация тех или иных подсистем, их жесткая пригнанность к одному классу задач, если сегрегациогенез не сочетается с синтезогенезом, становится тупиковым путем эволюционирующей системы, затрудняет ее существование при встречах с непредвиденными ситуациями» [15]. Нахождение определенного компромисса между сверхспециализацией и универсализацией – основа эволюционного развития системы.

Указанные выше положения легли в основу формулировки принципов историко-эволюционного подхода к пониманию человека, лежащего в русле концепции универсального эволюционизма [15].

Принцип 1. Эволюция любых развивающихся систем предполагает взаимодействие двух противоборствующих тенденций – тенденции к сохранению и тенденции к изменению данных систем. В социальных системах тенденция к сохранению проявляется в социальном наследовании, в преемственности таких форм культуры и социальной организации, которые обеспечивают адаптацию данной системы к тем или иным уже встречавшимся в ходе эволюции ситуациям. Изменчивость же выступает в различных нестандартных, нестереотипизированных приспособлениях системы к непредсказуемым переменам ситуации, в поиске новой информации о среде существования и построении целесообразного поведения в ней.

Принцип 2. В любой эволюционирующей системе функционируют избыточные преадаптивные элементы, относительно независимые от регулирующего влияния различных форм контроля и обеспечивающие саморазвитие системы при непредвиденных изменениях условий ее существования. В эволюционирующих системах возникают и проявляются различные виды активности элементов, входящих в эти системы.

Принцип 3. Необходимым условием развития различного рода систем является наличие противоречия (конфликта или гармонического взаимодействия) между адаптивными формами активности, направленными на реализацию родовой программы, и проявлениями активности элементов, несущих индивидуальную изменчивость.

Историко-эволюционный подход предлагает рассматривать человека как активный компонент различных систем. Смысл эволюционного подхода состоит в том, что, порождаясь в системе «природа – общество», индивидуальные проявления человека обеспечивают существование системы и дальнейшее ее развитие.

Эволюция как самоорганизация

В основе нового подхода к описанию различных эволюционных процессов лежит современное понимание эволюции как проявления самоорганизации. В настоящее время уже изучен весьма широкий спектр процессов самоорганизации как в живой, так и неживой природе.

К исследованиям самоорганизации стали проявлять большой интерес во всех отраслях современного естествознания, а также в социогуманитарных науках и технике. П.К. Анохин отмечал, что «главное качество биологической *самоорганизующейся* системы и состоит в том, что она непрерывно и активно производит перебор степеней свободы множества компонентов, ... чтобы включить те из них, которые приближают организм к получению полезного результата» [4].

Осмысление различных процессов самоорганизации привело к становлению нового междисциплинарного направления в науке – синергетики. Эта наука изучает общие принципы, лежащие в основе всех явлений самоорганизации. Для всех изученных явлений самоорганизации выделен ряд принципиально важных признаков [2–4]:

- самоорганизующаяся система является сложной, состоит из большого числа элементов;
- она является открытой, неравновесной и нелинейной;
- при увеличении неравновесности системы выше определенного предела система переходит в неустойчивое состояние;
- выход из неустойчивости происходит скачком за счет быстрой перестройки элементов системы;
- при этом наблюдается согласованное поведение элементов системы, которое проявляется в переходе системы в качественно новое состояние с упорядоченной структурой (это может быть какая-либо пространственная или временная упорядоченность);
- выбор одного из возможных новых состояний в системе случаен.

Под конкретными подсистемами понимают, например, электроны, фотоны, атомы, молекулы, живые клетки, нейроны мозга, части технических устройств или организмов, животные, люди, социальные образования. Таким образом, под синергетикой понимают «теорию самоорганизации в сложных, открытых, неравновесных и нелинейных системах любой природы. Это научное направление, занимающееся изучением возникновения, поддержания, устойчивости и распада самоорганизующихся структур, кооперативных эффектов в них» [1].

Проблематика, содержание, методы исследований и результаты, относимые к синергетике, характеризуются неоднозначными оценками и неопределенностью. Вместе с тем, синергетика как научное направление исследований является востребованной обществом. Органическая потребность современной науки в обобщающих междисциплинарных исследованиях продолжает стимулировать дальнейшее развитие синергетики и выход ее на новый уровень интеграционных взаимодействий. Синергетика действует сегодня как категория научного знания. Контекст синергетики дает возможность плодотворно взаимодействовать ученым разных специализаций на языке системного осмысления и поиска новых решений. Обоснованием целесообразности синергетических исследований в разнообразных областях человеческой деятельности является установленный факт, что кооперация многих подсистем какой-либо системы подчиняется одним и тем же принципам независимо от природы подсистем.

Синергетика как новое научное направление, изучающее процессы самоорганизации структур различной природы, ищет универсальные закономерности возникновения порядка из хаоса, делает попытку создать описание причин и механизмов устойчивого существования возникающих структур и их распада [2–4].

Синергетика в педагогических науках

Постнеклассическая стратегия познания только формируется, при этом ученые отмечают как одну из важных ее черт особую актуальность этой стратегии не только в современном естествознании, но и по отношению к исследовательским задачам социогуманитарного знания, в частности, к задачам обучения и воспитания. Перечень примеров использования представлений синергетики для создания новых гуманитарных, обществоведческих концепций быстро пополняется. Говоря о гуманитарных аспектах синергетики, нельзя забывать, что это новая отрасль знания. На современном этапе ее развития вырабатываются принципы, основополагающие идеи и математические методы. Так что, по мнению ученых, использование синергетики за рамками естествознания просматривается лишь в самых общих чертах. Но в методологическом плане ценность синергетики однозначна. Одно из проявлений этого – осознание плодотворности нелинейного мышления, которое связано с навыком обнаружения и учета в изучаемых явлениях обратных связей и малых факторов, способных при определенных условиях принципиально изменить ситуацию в системе. Такой подход может оказаться плодотворным в области социально-гуманитарного знания.

Система образования – одна из социальных подсистем общества. Она входит в общественную структуру как социальный институт, ее функционирование обусловлено взаимосвязями с другими духовными и материальными элементами социальной структуры. Современное высшее образование, выполняя социальный заказ на подготовку специалистов, способных в профессиональной деятельности адаптироваться к социально-экономическим преобразованиям, переживает состояние качественного изменения, в котором первостепенное значение имеет реализация целостного образовательного процесса, адекватного методологии деятельности специалиста в условиях демократизации и гуманизации жизнедеятельности. Современное педагогическое сообщество, обеспечивающее подготовку специалистов с высшим образованием, нуждается в конкретных рекомендациях педагогической науки, основанных на обобщении разрозненных инноваций, на методологических выводах, синергетических подходах, объясняющих процессы, происходящие в системе высшего образования.

Одним из тех, кто исследовал становление синергетического мировоззрения в педагогической науке и образовании в своих исследованиях, был С.В. Кульневич. Анализ его работ [9–11] позволил сделать следующие основные выводы:

1. Становление новой мировоззренческой парадигмы напрямую связано с пониманием актуальности и реального смысла синергетических принципов для научно-педагогических исследований.

2. В центре проблематики становления синергетического мировоззрения находится феномен самоорганизации как основа для построения систем нового класса не только в точных, но и в гуманитарных науках.
3. Благодаря синергетике в научной методологии появляются совершенно иные, по сравнению с классическими, естественно-научными, принципы исследования и преобразования изучаемого предмета любой науки: принципы открытости, дополнительности, субъектности.
4. Основная характеристика самоорганизованного мировоззрения – субъектность, т.е. самостоятельно порожденный личностный смысл.
5. При всем многообразии синергетических идей в психолого-педагогических науках наблюдаются отрицательные моменты, связанные с использованием методов синергетики в образовании: 1) в нарастающем потоке педагогических исследований синергетической методологии делаются открытия давно и хорошо известных истин; 2) осуществляется перенос основных положений синергетики в несовместимую с ними сферу естественно-научного образования. Несовместимость, как считает С.В. Кульневич, обусловлена принадлежностью синергетической и естественно-научной методологии двум различным научным парадигмам: классической и постнеклассической.
6. Отличительная особенность синергетических принципов – способность придать содержанию учебных предметов возможность увидеть изучаемые явления изнутри, как открытую, неравновесную, нелинейно развивающуюся систему.

С.В. Кульневич предложил следующие принципы дидактики нового типа, которые называет синергетическими [9–11]:

- **принцип субъектности** познающего сознания, в соответствии с которым новое место исследователя – внутри системы наблюдения, заставляет по-новому осмыслить и статус действующих лиц образовательного процесса; студент и преподаватель являются активными субъектами учебного процесса;
- **принцип дополнительности**, который определяется одним из ведущих открытий неклассической квантовой теории – концепцией комплементарности (от лат. complementum – дополнение); смысл концепции состоит в том, что противоположности, как основа развития, уходят не посредством снятия, а за счет взаимного дополнения, компромисса, сочетающих черты прежних противоположностей; на практике это означает, что лекционный монолог уступает место смысловому диалогу, взаимодействию, партнерству, ориентациям на реальную свободу развивающейся личности;

- **принцип открытости учебной информации**, согласно которому роль преподавателя состоит в том, чтобы поместить предлагаемые студенту знания в контекст открытия, стимулировать процесс познания, а не давать знания в готовом виде.

В.А. Игнатова выделяет три важнейшие составляющие использования идей синергетики в образовании: дидактические аспекты адаптации идей синергетики в содержании образования; использование их в моделировании и прогнозировании развития; применение в управлении учебно-воспитательным процессом [19].

По мнению В.А. Сластенина, **синергетика** позволяет методологически усилить процесс формирования личности студента как субъекта деятельности, придав законченный вид следующим важным принципам ее функционирования [20]:

- центр учебно-воспитательного процесса – личность обучающегося;
- обучающийся – субъект образования и воспитания, в учебно-воспитательном процессе занимает активно-творческую позицию;
- свобода самовыражения и самореализации личности в образовательной среде, поиск индивидуальной стратегии самоопределения обучающегося в жизни;
- актуализация принципов активности, диалогичности, самостоятельности, инициативы и творчества в обучении;
- обучающийся – открытая, саморегулирующаяся система, стремящаяся к развитию субъектности и субъективности;
- свобода выбора образовательных программ, курсов, глубины их содержания и преподавателя.

По мнению А.В. Москвиной [21], синергетический подход освобождает педагогическое пространство от однолинейности и штампов, открывает полифункциональность и многомерность гипотез и теорий, позволяет по-новому осмыслить особенности творческого мышления и воображения, оценить постоянно обновляющееся многообразие способов, методов, принципов развития творческой личности, создать новые условия для раскрытия творческих способностей, к которым относятся:

- 1) *принцип признания самооценности каждой личности*; с позиций синергетики личность есть открытая возможность;
- 2) *принцип флуктуации (отклонения) творческого мышления*; любая функционирующая система не является стабильной, в ней неизбежно накапливаются отклонения, которые ведут к хаосу и могут даже вызвать ее распад; процесс осознания самого себя приводит к «порядку через флуктуацию»;
- 3) *принцип противоречивости процесса развития творческих способностей*; самоорганизация возможна при неоднородности системы, при наличии неравновесных структур; развитие в синергетике понимается как самоактуализация имеющихся потенциальных возможностей системы, а не как наведение порядка извне;

- 4) *принцип диссипации (самовыстраивания) творческих способностей*; согласно положениям синергетики, в результате флуктуационных изменений, происходящих в системе, начинается процесс диссипации – самовыстраивания регулярной структуры на уровне кооперативного, согласованного взаимодействия частиц, образующего новую стационарную структуру;
- 5) *принцип единого темпомира (темпа развития)* обучающего и обучающегося в процессе развития творческих способностей; в процессе эволюции открытые неравновесные системы интегрируются в сложные целостные структуры, развивающиеся в разном темпе;
- 6) *принцип возрастной сензитивности в развитии творческих способностей*; в динамической, постоянно меняющейся модели развития личности творческие способности можно представить в виде то открывающихся, то закрывающихся возможностей, где момент открытия есть некий момент истины, сензитивности; если этот момент будет упущен, то многие способности уже не смогут раскрыться в полной мере.

По мнению Н.А. Алексеева, синергетический подход сегодня, пока идет его оформление и отработка аппарата относительно педагогики, более уместен для уровня научной методологии, чем для применения в решении конкретных задач педагогики. В синергетической парадигме педагогического мышления начинает просматриваться общий язык для описания многих педагогических явлений, по-новому просматривается дальнейшее развитие современного образовательного пространства [8].

На основе исследования опыта использования синергетики в междисциплинарных исследованиях [2–11] обозначим следующие **проблемы использования синергетических идей в педагогике и образовании**, которые являются актуальными для педагогики современной высшей школы:

1. Самоорганизующимися системами в образовательном пространстве высшей школы являются преподаватель, студент, их взаимосвязь в рамках системы обучения. Необходимо определиться с их номенклатурой и иерархией.
2. Необходимо определить механизмы функционирования каждой такой системы, которые и определяют в конечном итоге саморазвитие их как систем или подсистем. Например, для студента в качестве таких механизмов могут выступать рефлексия, персонализация, стереотипизация, а основное направление саморазвития направлено на развитие предметно-специфического мышления, профильного стиля компетентности. Для преподавателя – это совершенствование стиля преподавания и его гибкость по отношению к различным субъектам.

3. Необходимо показать динамику взаимного влияния преподавателя и студента, логику их взаимодействия, т.е. показать, как изменения в одной саморазвивающейся системе влияют на саморазвитие другой.
4. Необходимо определиться с терминологией: чем развитие и формирование личности обучаемого отличается от саморазвития. Например, В.В.Давыдов считал, что существует только саморазвитие ребенка, человека, личности. Это означает, что каждый берет из среды то, что может освоить и сделать своим, и, следовательно, поднять себя на следующий уровень развитости. Но необходимо показать, в какой области искать материал для саморазвития, и преподнести его в определенном виде.
5. Одновременно с решением теоретических проблем следует искать их практическое, технологическое решение: каковы конкретные условия обеспечения саморазвития студентов. Необходимо переосмыслить имеющийся опыт авторских разработок в области личностно ориентированного обучения в рамках синергетической парадигмы мышления.

Синергетическая парадигма жизнедеятельности социума лежит в основе современного социокультурного пространства. Мы рассматриваем синергетическую парадигму жизнедеятельности социума как совокупность следующих факторов [5]: новой логики формирования мировоззрения; субъектной позиции в социальных взаимодействиях; толерантности в социальных отношениях; самоорганизации в жизнедеятельности.

Новая логика формирования мировоззрения подразумевает, прежде всего, инновационное наполнение социокультурного пространства, которое призвана осуществлять система образования, в том числе формирующаяся система образования взрослых. Расширение функций образования в связи со сменой императивов «образование на всю жизнь» на «образование через всю жизнь» требует переосмысления образовательной парадигмы, о чем говорилось выше.

Рациональность и даже необходимость интеграции различных систем образования очевидна. Процесс такой интеграции представляет собой задачу всей цивилизации. Современное российское массовое сознание находится в состоянии качественного изменения. Учет специфики образования взрослых людей усиливает внимание к методической стороне учебного процесса. Появление новых целей и ценностей обуславливает инновационные технологии структурирования содержания.

Субъектная позиция в социальных взаимодействиях, реализуемых на синергетической парадигме, сегодня составляет основу решения проблемы демократизации социальной жизни общества. Формирование субъектной позиции представляет собой одну из инновационных задач, которые необходимо решить системе образования.

Проблема толерантности в социальных отношениях имеет свой источник в противоречии устоявшихся за многие годы моделей понимания себя, прежде всего, как социальной «единицы», соответствующей общественным нормам. Сегодня толерантность востребована как фактор, регулирующий социальное и природное в субъекте жизнедеятельности через осознание их равной значимости, через новую логику мышления, через синергетический принцип дополнительности в социальных взаимодействиях. Переход от ценности признания одинаковости субъектов к ценности признания «он иной и тем мне интересен как потенциал для обмена мыслями, информацией, материальным продуктом». Технологии социальных отношений на основе толерантности предполагают определенные принципы (требования) и методы (процедуры). К принципам следует отнести: комплементарность (дополнительность), взаимопроникновение, признание субъектной позиции, понимание взаимных интересов, равнозначность обмена содержанием, знание способностей, сопоставление результатов взаимодействия.

Самоорганизация в жизнедеятельности социальных систем – категория, требующая анализа и структурирования. Самоорганизация происходит без какого-либо воздействия извне. Одно состояние системы утрачивает устойчивость, и вместо него появляется (самоорганизуется) новое устойчивое состояние.

Структурирование жизнедеятельности по семантическому основанию позволяет представить ее как систему, представленную на рисунке 1.

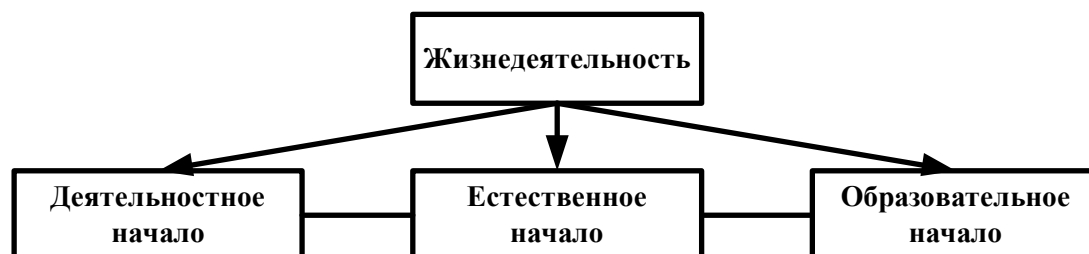


Рис. 1. Схема жизнедеятельности социальных систем

Тогда схема реализации процесса самоорганизации социальных систем имеет следующую структуру, представленную на рис. 2.

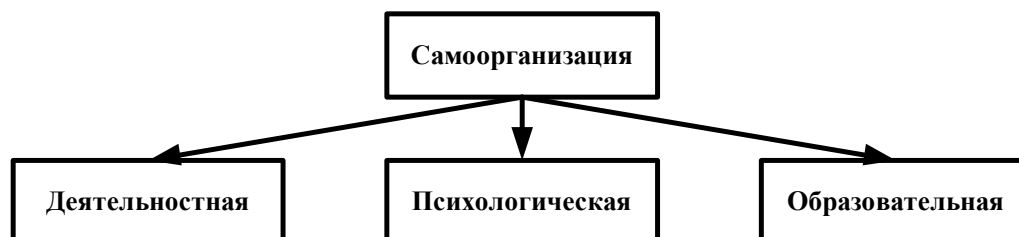


Рис. 2. Схема реализации процесса самоорганизации в жизнедеятельности социума

Психологическая самоорганизация в собственном сознании членов социума предполагает управляемую динамику изменения состояния сознания по замыкающей шкале: гармония, несоответствие, противоречие, проблема, конфликт, столкновение, катастрофа. Удерживание собственного сознания в оптимальном диапазоне обеспечивает активность, адаптивность, поиск новой информации, развитие, результативность действий. Стремление к гармонии осуществляется путем разрешения проблем, устранения противоречий, преодоления несоответствий между собственными потребностями, внутренними нормами и достигнутым уровнем развития способностей.

Самоорганизация в деятельности членов социума и социальных систем также базируется на осознании проблемы как реального препятствия, которое необходимо преодолеть. Если рассматривать деятельность как основу бытия и следовать логике предшествующих рассуждений, то структура деятельности личности может быть представлена следующим образом [6, 7]:

- самоопределение – адаптация внутренних потребностей личности к условиям реальных ситуаций и принятие соответствующих решений;
- критерии деятельности, выбранные личностью из всего множества норм и правил, применительно к конкретной ситуации;
- способы деятельности как проявление индивидуальных способностей (данных от природы и развитых в культуре) личности применительно к реальным условиям.

Самоорганизация образовательных процессов реализуется в изменении собственного сознания и деятельности личности на основе социокультурного развития, а именно: осознаются потребности, появляется цель, определяющая смысл действий; внутренние нормы изменяются в поиске новой информации во внешнем (репродуктивное содержание) и внутреннем (продуктивное содержание), формируется содержание образования как информация, предназначенная для усвоения.

Такое углубление в структуру самоорганизации позволяет личности осознавать проблемы, находить их источник и разрешать, в чем и состоит реальная значимость синергетических исследований и изысканий в области педагогики и психологии.

Чтобы стимулировать студента к поиску знаний, сознание должно оперировать не столько заученным значением знания, сколько поиском источников его смысла, соотносением его сущности с актуальными значениями, установлением причинно-следственных и интуитивных связей и т.д., т.е. осуществлять самоорганизацию методологической профессиональной культуры будущего специалиста. Будучи наукой о способах и закономерностях самоорганизации сложных систем, синергетика не могла не выйти

на проблему возникновения «порядка из хаоса» в самом человеке. Синергетика содержит конкретный, не теряющий при этом методологической основы механизм перехода от хаоса к порядку, от неупорядоченного множества элементов, через их самоорганизацию, к системе. В сопровождающей учебный процесс «свободе выбора» выбор, как правило, является множественным и определяется преимущественно смысловой значимостью для студента изучаемых реалий. Открывающиеся ему смыслы «чего-либо», предпочтение, в соответствии с его матрицей сознания, одних из них и отторжение других – свидетельство синергетической природы смыслообразования студентов [12].

Методологическая культура, определяемая умениями искать смысл, формируется не посредством заучивания, а посредством осмысления и переосмысления содержания знаний и формирования на этой основе их личностного восприятия и понимания. Особый интерес в этом направлении представляет раскрытие механизмов смыслообразования в учебном процессе как приоритетного направления современной дидактики, особенно того его направления, которое называют смысловой дидактикой (И.В. Абакумова, П.Н. Ермаков, В.Т. Фоменко) [12].

В качестве объединяющего основания внешнего и внутреннего смысл можно рассматривать с точки зрения его понимания «в контексте концептуальной интегрированной модели смыслообразования, включающей в себя наиболее обобщенные, характерные для всех направлений исследования смысла компоненты и закономерности. Именно такая интегрированная модель позволяет раскрыть смысловую динамику и особенности смыслообразования в различных реальностях, в соответствии со спецификой поля смысловой самоактуализации» [12].

Динамика смыслового развития и личностного роста порождает непрерывное взаимодействие между ситуативными смысловыми проявлениями и смысловыми структурами, претендующими на устойчивый уровень и определяющими поведение смысла. В ходе роста личностный смысл трансформируется в личностную ценность. Окружающая человека реальность несет в себе его потенциальные смыслы и при возникновении определенных факторов начинает «расширять и уплотнять его смысловые образования, насыщая смыслами его сознание и личностные составляющие, – это поле расширения и уплотнения смысла» [12].

Как и многие другие современные направления развития психологической науки, смысловая дидактика испытывает на себе влияние синергетики как теории самоорганизации систем.

Самоорганизация, рассматриваемая с позиций синергетики, – это способность слабоструктурированной, нестабильной, открытой системы к самонадстраиванию, самоперерастанию в новое, более жизнеспособное качество. Основным источником развития самоорганизуемых систем – внутренние ресурсы. Это свойство вполне применимо к любой педагогической

структуре, в связи с чем ее понятия получают принципиально новую и более точную в гуманистическом контексте трактовку – возникновение «порядка из хаоса» в человеке. Идеи Хакена, И. Пригожина и И. Стенгерс были экстраполированы в науки о человеке, что способствовало появлению психосинергетики и педагогической синергетики [21, 22].

В частности, воспитание может быть рассмотрено как процесс самоорганизации личности средствами своих внутренних ресурсов, востребующих определенной внешней инициации. Внутренние ресурсы представляют собой личностные структуры сознания: критичность, мотивирование, рефлексия, коллизийность, автономность и др. Они формируют личностный опыт создания собственной картины мира. Феномен самоорганизации сознания опосредуется процессами осмысления, переосмысления и определенной дискредитации традиционного содержания педагогической деятельности, а также осмысления ее новых ориентиров, «включающих» личностные структуры сознания в режим осмысленного, достаточно автономного поиска. Саморазвитие приобретает статус принципа, определяющего способность системы образования к непрерывному самообновлению посредством преодоления противоречий своего развития усилиями самих участников педагогических процессов. Особое значение приобретает гуманистический контекст этого положения: студентам необходимо доверять ответственность за свою профессиональную подготовку. Преодолевать противоречия своего профессионального развития они смогут только тогда, когда будут полностью вовлечены не в деятельность запоминания, а в деятельность производства смысла сообщаемых знаний.

Методологическое значение для разработки различных аспектов личностной самоорганизации имеют следующие положения:

1. Система в образовательном пространстве (система личности, система образования и т.д.) сама формирует свою границу.
2. Новое возникает из неопределенности. Данное обстоятельство определяет характер организации смыслотворческой деятельности студентов в учебном процессе.
3. Развитие личностной системы характеризуется такими свойствами, как нелинейность, неравновесность, альтернативность и хаотичность. Становление и развитие предполагают как постепенный, эволюционный, так и скачкообразный характер. В контексте смыслообразования интерес представляет дидактическая технология, основанная на резком, остром смысловом столкновении.
4. Концепции самоорганизации открывают новые возможности в управлении стихийными процессами самовоспитания, используя элементы тонкого и мягкого регулирования, которое, в свою очередь, призвано активизировать механизмы самоорганизации, потенциально заложенные в личностной системе индивида.

Современное состояние образовательного пространства российской высшей школы может быть описано терминами синергетики. Оно имеет бифуркационные (критические) точки разрушения старых структур и возникновения новых возможностей для перехода системы в новое качество. Оно обладает свойством нелинейности, т.е. многовариантностью и непредсказуемостью перехода системы из одного состояния в другое. Образовательная система неустойчива и сильно неравновесна, флуктуативна, открыта для развития и т.д. Аттракторами представляются более значащие смыслы, процесс смыслообразования должен быть организован таким образом, чтобы внутри этой организации имела место смысловая самоорганизация, становление смысловой основы студента в соответствии с синергетическими закономерностями. Самоорганизация осуществляется, если система неравновесна, что возникает в том случае, если через систему «прокачивается» вещество, энергия или информация. В системе образования это – информация. В синергетике говорят о зонах притяжения, попав в которые фазовые траектории будут стремиться прийти к тому или иному аттрактору – области, которая как бы притягивает траекторию развития. В результате неустойчивое равновесие оказывается минимальным, и сведение его к этому уровню является показателем развития системы. Развитие продолжается при условии возникновения нового неравновесного состояния системы. С фактом притяжения в условиях неравновесных систем, обосновываемым в синергетике, связывают факт «смыслового притяжения» в условиях смысловой неопределенности человека, смысловой «борьбы», в которой «побеждают» более значащие для него смыслы [5].

Инновационное образование в контексте синергетики

Отметим, что в соответствии с синергетической парадигмой основными особенностями инновационного образования являются:

- *принцип эволюционного движения*, в соответствии с которым естественный порядок образования не является единственно возможным;
- *принцип гармонизации*, согласно которому формальный математический язык не может рассматриваться как универсальный без взаимодействия с понятийными, духовными, гуманитарными методами, т.е. гуманизация и гуманитаризация должны стать основополагающими в инновационном образовании;
- *принцип вариативности*: образование и подготовка высококлассного специалиста осуществляется на многовариантной и альтернативной основе; наличие моментов нестабильности, связанных с выбором дальнейшей траектории обучения; конфликт стилей в процессе обучения приводит к необходимости смены траектории обучения;

- *принцип компаративного анализа системы ценностей*: развитие личности студента реализуется на основе сравнения собственной системы личностных смыслов (ценностей) с тем, что накоплено в культуре; особым потенциалом в данном случае обладает дисциплина «Иностранный язык», позволяющая осуществлять сравнение в поликультурном пространстве;
- *принцип множественности* в сопровождающей учебный процесс операции выбора ценностей и дальнейших путей развития; выбор, как правило, определяется смысловой значимостью для студента изучаемых реалий; процесс подготовки специалиста включает в себя разнообразные тенденции, сопровождаемые стихийными и управляемыми процессами разрушения старых и возникновения новых систем, поиска и приобретения новых смыслов;
- *принцип нелинейности взаимодействия*: образование может считаться инновационным, если оно будет представлять собой процесс нелинейного взаимодействия человека с интеллектуальной средой, при котором личность воспринимает ее для обогащения собственного внутреннего мира и благодаря этому созревает для умножения потенциала самой среды;
- *принцип открытости инновационной образовательной среды*: образовательная среда должна быть открытой системой (состоять из подсистем, между которыми происходит постоянный обмен информацией; являться подсистемой системы более высокого порядка и обмениваться информацией с другими ее подсистемами);
- *принцип саморазвития*: в инновационной образовательной среде должен быть обеспечен переход от управления к самоуправлению, от развития под влиянием внешних факторов к саморазвитию под влиянием внутренних факторов.

Заключение

В соответствии с синергетической парадигмой жизнедеятельности целое всегда больше составляющих его частей. Основной принцип синергетики – целое больше суммы частей – прослеживается с древних учений даоизма и философии Лао-Цзы [23]. Согласно этим учениям, целое не равно сумме частей, оно качественно иное по сравнению с частями, которые в него интегрированы. Следовательно, формирующееся целое видоизменяет части. В проектировании и реализации инновационного обучения это означает, что инновационное образовательное пространство, частями которого являются взаимодействующие отдельные образовательные системы, представляет собой феномен, обладающий качественно новыми свойствами, по сравнению с каждой отдельно взятой системой. В обучении иностранным языкам синергетический подход реализуется, например, в

формировании коммуникативной компетенции, составляющие части которой – языковая, речевая, социокультурная и другие — взаимодействуя, образуют вторичную языковую личность, не просто владеющую знаниями по лексике, грамматике, стилистике и т.д., а реализующую это все в речи на определенном социокультурном фоне.

Таким образом, высшее образование позволяет усвоить правила самоорганизации самого себя и социальных систем, если преподаватель осуществляет свою инновационную педагогическую деятельность на базе синергетической парадигмы, на основе смыслоцентрированного подхода, в соответствии с теорией сложных систем, их самоорганизации, динамики хаоса и порядка, устойчивого состояния, если он владеет инновационными педагогическими технологиями и соответствующими им моделями педагогического взаимодействия. В современной науке совершенно четко прослеживается тенденция интеграции естественных и гуманитарных наук, имеющая большой образовательный потенциал. Разрешению многих проблем взаимодействия двух культур – естественно-научной и гуманитарной – способствует становление эволюционно-синергетической парадигмы. Она дает новое направление интеграции естественно-научного и социально-гуманитарного знания и в то же время сама является результатом такой интеграции.

Библиографический список

1. Лозовский, В.Н. Концепции современного естествознания : учеб. пособие / В.Н. Лозовский, С.В. Лозовский. – 2-е изд., испр. – СПб. : Лань, 2006. – 224 с.
2. Синергетика. Труды семинара. Т. 3. Материалы круглого стола «Самоорганизация и синергетика: идеи, подходы и перспективы». – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 368 с.
3. Писаренко, В.И. Система инновационного гуманитарного образования в техническом вузе : монография / В.И. Писаренко. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 365 с.
4. Синергетика и психология. Тексты. Вып. 1. Методологические вопросы / под ред. И.Н. Трофимовой, В.Г. Буданова. – М. : Изд-во МГСУ «Союз», 1997. – 361 с.
5. Громкова, М.Т. Психология и педагогика профессиональной деятельности : учеб. пособие для вузов / М.Т. Громкова. – М. : ЮНИТИ – ДАНА, 2003. – 415 с.
6. Вербицкая Л.А. Некоторые проблемы современного высшего образования в России / Л.А. Вербицкая, В.Т. Лисовский // Высшее образование в России, 2001. – № 3. – С. 8–11.
7. Курейчик В.М. Синергетический подход в инновационном образовании / В.М. Курейчик, В.И. Писаренко // Открытое образование, 2007. – № 3. – С. 20–29.

8. Алексеев, Н.А. Личностно ориентированное обучение в школе / Н.А. Алексеев. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 332 с.
9. Кульневич, С.В. Философия жизни, тринитарность и синергетика как неклассические основы гум. обр-я / С.В. Кульневич // Личностно ориентированная педагогика. – Воронеж, 1999. – № 3.
10. Кульневич, С.В. Фантомы и реалии становления синергетического мировоззрения в педагогике : тезисы конф. «Психолого-педагогические чтения юга России» / С.В. Кульневич. – Майкоп, 2000.
11. Кульневич, С.В. Проблемы обновления содержания учебных программ в контексте педагогической синергетики : альманах «Историко-культурные, содержательные и науковедческие аспекты развития педагогического образования и педагогической науки на Дону» / С.В. Кульневич // Известия ЮО РАО. Вып. III. – Ростов н/Д, 2001. – С. 90–101.
12. Абакумова, И.В. Смыслоцентризм в педагогике: новое понимание дидактических методов / И.В. Абакумова, П.Н. Ермаков, И.А. Рудакова. – Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 2006. – 256 с.
13. Будущее прикладной математики. Лекции для молодых исследователей / под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 512 с.
14. Северцов, А.С. Теория эволюции : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 510600 «Биология» / А.С. Северцов. – М. : Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2005. – 380 с. : ил.
15. Асмолов, А.Г. Психология личности: культурно-историческое понимание развития человека / А. Асмолов. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Смысл : Академия, 2007. – 528 с.
16. Северцов, А.Н. Главные направления эволюционного процесса / А.Н. Северцов. – М., 1967. – 201 с.
17. Прист, Р. Язычество в христианстве / Р. Прист, Т. Кэмпбэлл, Б. Му. – М. : Шандал, 2003. – 96 с.
18. Моисеев, Н.Н. Алгоритмы развития / Н.Н. Моисеев. – М. : Наука, 1987. – 304 с.
19. Игнатова, В.А. Естествознание : учеб. пособие / В.А. Игнатова. – М. : Академкнига. – 2002. – (Серия «Университетская библиотека»).
20. Сластенин, В.А. Психология и педагогика : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.А. Сластенин, В.П. Каширин. – 3-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2004. – 480 с.
21. Хакен, Г. Тайны природы. Синергетика: наука о взаимодействии / Г. Хакен. – М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. – 320 с.
22. Пригожин, И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / под ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича, Ю.В. Сачкова ; пер. с англ. – М. : Прогресс, 1986.
23. Таранов, П.С. Философия сорока пяти поколений / П.С. Таранов. – М. : Изд-во АСТ, 1998. – 656 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев А.М. – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург.

Асцатуров Ю.Г. – Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета ЮРГТУ(НПИ), г. Шахты.

Бегляров В.В. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Безуглов Д.А. – Ростовская академия сервиса Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса РАС ЮРГУЭС, г. Ростов-на-Дону.

Берёза А.Н. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Ермолаева Н.В. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Игнатов С.В. – Филиал общества с ограниченной ответственностью «Торговый Дом «РУСЭЛПРОМ», г. Владимир.

Ким А.И. – Волгодонская атомная станция ВОАЭС, г. Волгодонск.

Ким И.А. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Кобелев А.С. – Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт электромашиностроения» (ОАО «НИПТИЭМ»), г. Владимир.

Коротков А.В. – Международный центр теоретической физики, г. Новочеркасск.

Курейчик В.М. – Таганрогский технологический институт Южного федерального университета (ТТИ ЮФУ), г. Таганрог.

Литвин Н.В. – Волгодонский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета ЮРГТУ (НПИ), г. Волгодонск.

Мешков В.Е. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Мешкова Е.В. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса ВИС ЮРГУЭС, г. Волгодонск.

Никуличев Н.Н. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Орлов В.В. – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург.

Павлов А.В. – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург.

Писаренко В.И. – Таганрогский технологический институт Южного федерального университета (ТТИ ЮФУ), г. Таганрог.

Прокопенко Н.Н. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Решетникова И.В. – Ростовская академия сервиса Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса (РАС ЮРГУЭС), г. Ростов-на-Дону.

Родионова И.В. – Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт электромашиностроения» (ОАО «НИПТИЭМ»), г. Владимир.

Сахаров И.А. – Ростовская академия сервиса Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса (РАС ЮРГУЭС), г. Ростов-на-Дону.

Светлаков А.Н. – Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург.

Семенов В.В. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Стороженко А.С. – Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса (ВИС ЮРГУЭС), г. Волгодонск.

Фетисов В.М. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Ханжонков Ю.Б. – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты.

Научное издание

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
И ТЕХНОЛОГИИ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

Сборник научных трудов

Ответственный за выпуск Н.В. Ковбасюк

ИД № 06457 от 19.12.01 г. Издательство ЮРГУЭС.

Подписано в печать 11.07.08 г.

Формат бумаги 60х84/16. Усл. печ. л. 11. Тираж 61 экз. Заказ № 280.

ПЛД № 65-175 от 05.11.99 г.

Типография Издательства ЮРГУЭС.

346500, г. Шахты, Ростовская обл., ул. Шевченко, 147