

УДК 683.03

Н.Г. Ярушкина

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Ярушкина Надежда Глебовна, доктор технических наук, профессор. Окончила радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Проректор по научной работе, заведующий кафедрой «Информационные системы» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи и монографии в области интеллектуального анализа данных. [e-mail: jng@ulstu.ru].

Аннотация

В статье рассмотрены основные этапы и перспективы интеллектуализации САПР сложных технических систем через основные парадигмы. Особенность настоящей статьи заключается в том, что проявления базовых парадигм иллюстрируется на материале проблемно-ориентированных систем, разрабатываемых в Ульяновском государственном техническом университете в сотрудничестве с ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» на протяжении последних 25 лет. Уникальное по длительности сотрудничество позволяет проследить, как возрастал встроенный «интеллект» конкретных разработок, и делает целесообразным хронологический порядок расположения материала статьи.

Ключевые слова: интеллектуальные САПР, инженерия знаний, мягкие вычисления, вычислительный интеллект, мягкая экспертная система, нечеткая тенденция временного ряда.

Nadezhda Glebovna Yarushkina, Doctor of Engineering, Professor, graduated from the Faculty of Radio-Engineering at the Ulyanovsk Polytechnic Institute; Pro-Rector for Science; holds the Chair 'Information Systems' at the Ulyanovsk State Technical University; author of articles and monographs in the field of intellectual analysis of data. e-mail: jng@ulstu.ru.

Abstract

This article deals with basic steps and development of intellectualization of CAD-systems for complex technical systems through basic paradigms. The specific feature of the article consists in the following: the manifestation of basic paradigms is shown on basis of problem-oriented systems developed by the Ulyanovsk State Technical University in cooperation with FRPC OJSC 'RPA 'Mars' during the last 25 years. The cooperation, unique from the point of view of its duration, allows seeing how the embedded intelligence of particular developments grew, and is reasonably reflected in the chronological order of the article content.

Key words: intellectual CAD-system, knowledge engineering, soft computing, computational intelligence, soft expert-system, fuzzy tendency of time series.

Введение

Интеллектуализация САПР всегда следовала вслед за фундаментальными достижениями искусственного интеллекта (ИИ). В истории же искусственного интеллекта резко выделяются «качественные» скачки формирования новых парадигм и периоды их развития, характеризующие активным развитием прикладных приложений. За последние 30 лет можно выделить не менее четырех крупных парадигм: человеко-машинного взаимодействия, инженерии знаний, мягких вычислений и вычислительного интеллекта. С другой точки зрения, в развитии ИИ можно увидеть постоянную борьбу двух других крупных парадигм: бионического и символического направлений. К бионическому направлению отнесем идею мягких вычислений, включающих в себя теорию нечетких систем, нейронных сетей и генетических вычислений. К символическому направлению – парадигмы человеко-компьютерного взаимодействия и инженерии знаний. Научное направле-

ние вычислительного интеллекта, являясь синтезом как бионических, так и формализованных символических методов, развивается в основном как совокупность формальных математических методов.

Область автоматизированного проектирования сложных технических систем для каждого из этапов развития ИИ является своего рода «пилотной площадкой» для проверки их эффективности. Стремление создателей САПР к интеллектуализации за счет использования текущей парадигмы ИИ показало ее преимущества и ограничения, так как реальные изделия, спроектированные в среде интеллектуальных САПР, должны были создаваться все быстрее и демонстрировать лучшее качество, выражаемое в конкретных значениях технических характеристик.

Рассмотрим преимущества и ограничения каждой из парадигм на примере проблемно-ориентированных систем, разрабатываемых в рамках сотрудничества ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» и Ульяновского государственного тех-

нического университета на протяжении последних 25 лет. За эти годы были разработаны следующие проблемно-ориентированные системы:

1. Диалоговая система поиска дефектов микропроцессорных схем (1986–1988 гг.) [1];
2. Система управления диалогом в составе САПР тестов микропроцессоров (1985–1989 гг.) [2, 3];
3. Экспертная система проектирования диалога (ЭСПД) (1989 г.) [4];
4. Мягкая экспертная система (оболочка) (1994–1998 гг.) [5–8];
5. Мягкая экспертная система экономического анализа (1994–1996 гг.) [9];
6. Мягкая экспертная система проектирования стендов контроля (1997 г.) [10];
7. Сервер нечетких данных (2003–2004 гг.) [11, 12];
8. САПР вычислительных сетей (2005–2008 гг.) [13–16];
9. Интеллектуальный проектный репозиторий (2008–2010 гг.) [17–19].
10. Internet-сервис интеллектуального анализа временных рядов (2009–2010 гг.) [20–24].

Десять проблемно-ориентированных систем, разрабатываемых с 1985 года по настоящее время, представляются достаточным исходным материалом для анализа.

1 Возможности и ограничения интеллектуализации САПР на базе парадигмы человеко-машинного взаимодействия

Парадигма человеко-машинного взаимодействия берет свое начало от фундаментального предложения А. Тьюринга, которое кратко можно изложить так: система обладает интеллектом, если она способна вести приемлемый диалог. В дальнейшем парадигма вобрала в себя многочисленные достижения эргономики и позволила развить разнообразные методы построения диалоговых проблемно-ориентированных систем. В области САПР это привело к появлению диалоговых, вопросно-ответных систем, «дружелюбных» с пользователем интерфейсов. Ряд трудностей в создании конкретных систем в конце 80-х годов XX века инициировало несовершенство технических средств. Использовались отечественные персональные компьютеры, например, ДВК-2М и Электроника-60 (объем оперативной памяти – 64 Кб, быстродействие – 500 тыс. операций в секунду, 5-дюймовый гибкий магнитный диск), или отечественные майнфреймы серии ЕС (в анализируемых работах ЕС-1045).

1.1 Обобщение инструментария диалога – система управления диалогом

Для создания проблемно-ориентированных диалоговых систем, в частности диалоговой системы поиска дефектов микропроцессорных схем и диалоговой подсистемы в составе САПР тестов микропроцессоров, вначале было необходимо создать инструментарий организации диалога, а затем реализовать принципы человеко-машинного взаимодействия. Подобный инструментарий был создан как система управления диалогом. В конце 80-х годов XX века в распоряжении разработчика диалоговых систем были только операторы ввода и вывода языка программирова-

ния, а графические интерфейсы класса WIMP (**Windows, Icons, Mouse, Pop-up menu**) только обсуждались. Разработанная система управления диалогом представляла собой библиотеку диалоговых примитивов, позволяющих реализовать все виды альтернативного, директивного и запросно-ответного типов диалогов.

Система управления диалогом имела две реализации: в среде операционной системы РАФОС для ДВК-2М (ПАСКАЛЬ) и в среде языка PL-1 с использованием библиотеки диалогового обмена PRIMUS-2 и СУБД СЕДАН-2.

1.2 Средства организации диалога в проблемно-ориентированных системах

В результате создания системы управления диалогом, выполненного сотрудниками Ульяновского государственного технического университета для НПО «Марс», были успешно реализованы диалоговая система поиска дефектов микропроцессорных схем и САПР тестов микропроцессоров.

Диалоговая система поиска дефектов микропроцессорных схем представляла собой инструментальное обеспечение регулятора радиоаппаратуры. Регуляторщик, помимо ДВК-2М, использовал в своей работе сигнатурный анализатор (СА А-817), а объектом диагностирования была цифровая схема с элементами микропроцессорных комплектов. Задача поиска дефектов состояла в идентификации места дефекта типа: «обрыв питания», «дефект микросхем», «дефект соединения», «дефект обратной связи». Диалоговая система обеспечивала ряд стратегий поиска дефектов, настраивая диалог: «ведомый» сигнатурный зонд, произвольное зондирование, выбор пользователем возможных путей продолжения движения зонда. Обеспечивался служебный диалог для формирования таблицы эталонных сигнатур, редактирования таблицы диагностирования, описывающей структуру объекта.

Назначением диалоговой системы САПР тестов микропроцессоров было обеспечение активного участия пользователя в решении задачи проектирования тестов для схем с элементами микропроцессорных комплектов.

Построение системы управления диалогом потребовало разработать типологию диалога и построить адекватные математические модели диалогов различных типов. Такую типологию и модели можно было положить в основу базы знаний ЭСПД и тем самым перейти к использованию парадигмы инженерии знаний в интеллектуализации систем проектирования.

2 Возможности и ограничения интеллектуализации САПР на базе парадигмы инженерии знаний

Парадигма инженерии знаний, начавшись с фундаментальной дискуссии о том, чем знания отличаются от данных, позволила разработать ряд декларативно-процедурных моделей знаний (фреймы, семантические сети, продукции) и глубоко изучить процессы обработки знаний (извлечение, представление, использование).

2.1 Экспертная система проектирования диалога

Пользователем экспертной системы проектирования диалога является разработчик диалоговой системы, выполняющий концептуальное проектирование. Архитек-

тура разработанной ЭСПД была классической и включала в себя следующие элементы: диалоговый интерфейс с пользователем, подсистему логического вывода, базу знаний, базу фактов и компоненту обслуживания – объяснения хода логического вывода, оперативной помощи, выдачи ответов. Разработка ЭСПД демонстрировала все плюсы и минусы парадигмы инженерии знаний. К плюсам отнесем то, что довольно слабая формализация знаний, в частности в данной системе на уровне продукционной модели, а не на уровне алгоритмов, позволила построить результативную систему. А к минусам – необходимость искать возможность работать с экспертом по диалоговым системам для извлечения знаний, которая на практике превратилась в непростую задачу самим сначала стать такими экспертами, а затем извлекать знания методом автоформализации. Такой опыт и был приобретен в ходе разработки двух описанных выше диалоговых проблемно-ориентированных систем.

2.2 Реализация логического вывода на языке ПРОЛОГ

Знания, используемые разработчиком на этапе общего проектирования, легко укладываются в форму продукций: ситуация – действие. Необходимость решающей процедуры, работающей по порождающей схеме, и доступность системы логического программирования ПРОЛОГ оправдывали выбор продукционной модели знаний. К сожалению, на практике ПРОЛОГ оказался не самым эффективным инструментарием реализации, несмотря на неканонические возможности бэктрекинга. Принципиальным же недостатком парадигмы логического программирования было отсутствие возможности работать в условиях неопределенности, реализуя правдоподобные рассуждения.

3 Возможности и ограничения интеллектуализации САПР на базе парадигмы мягких вычислений

Мягкие вычисления [6–8, 25] – это сложная компьютерная методология, основанная на нечеткой логике, генетических вычислениях и нейрокомпьютинге. Традиционные компьютерные вычисления (hard computing) «слишком точны» для реального мира. Имеется два класса проблем для мягких вычислений. Во-первых, существуют проблемы, для решения которых полная информация не может быть получена, и, во-вторых – проблемы, определение которых недостаточно полно. Такие проблемы – норма для сложных технических систем, систем экономического планирования, систем жизни, социальных систем большой размерности и принятия решений человеком.

«По мере возрастания сложности системы наша способность формулировать точные, содержащие смысл утверждения о ее поведении уменьшается вплоть до некоторого порога, за которым точность и смысл становятся взаимоисключающими», – так сформулировал принцип неопределенности для человеческих рассуждений Л. Заде – основоположник теории нечетких систем и автор интегрирующего (зонтичного) термина. Термин «мягкие вычисления» был им предложен в 1994 году на семинаре в Беркли (Калифорния).

3.1 Мягкая экспертная система как компонента САПР

Данная секция статьи посвящена интеллектуализации систем автоматизации проектирования на основе внедрения методов мягких вычислений. Для решения задачи была разработана архитектура и основные структурно-функциональные решения САПР.

Ранее были описаны нечеткие экспертные системы (ЭС), представляющие знания в форме нечетких продукций и совокупности лингвистических переменных. Основу представления лингвистической переменной составляет терм с функцией принадлежности. Способ обработки знаний – это вывод по нечетким продукциям. Особенностью конкретной нечеткой ЭС являются способы извлечения функций принадлежности, которые сводятся либо к статистическим методам построения из гистограммы, либо к вариантам метода экспертных оценок.

Было предложено определение мягкой экспертной системы (МЭС) как нечеткой ЭС, которая обладает следующими особенностями [5, 8]:

- МЭС для извлечения знаний использует статистические данные, которые интерпретирует как обучающие выборки для нечетких нейронных сетей;
- МЭС представляет знания как совокупность лингвистических переменных (функций принадлежности), нечетких продукций и обученных нейронных сетей, функций свертки критериев при многокритериальном выборе. Редукция множества нечетких продукций выполняется с помощью генетических алгоритмов;
- МЭС сочетает шаги вывода по нечетким продукциям с шагами многокритериального выбора решения, который является по существу специализированным типом продукции.

Таким образом, если мягкими называют вычисления, сочетающие теорию нечетких систем, нейронные сети, вероятностные рассуждения и генетические алгоритмы и обладающие синергическим эффектом, то мягкой назовем ЭС, сочетающую перечисленные теории ради того же эффекта взаимного усиления.

МЭС должна предоставить инструментальную и информационную среду для экспертной деятельности в ходе проектирования. Инструменты для разработки МЭС должны представлять собой совокупность различных программных продуктов, объединенных логикой работы. С точки зрения этапов экспертизы, основными блоками МЭС должны быть следующие блоки:

- фаззификатор с БД функций принадлежности;
- нейроимитатор, работающий в режимах обучения, распознавания, предсказания;
- система принятия решений;
- система нечеткого вывода.

На основе данного определения была разработана оболочка МЭС как инструментарий интеллектуализации САПР на этапе распространения «мягкой» парадигмы.

3.2 Эффективность гибридных интеллектуальных технологий в САПР

Эффективность гибридных интеллектуальных технологий могла быть проверена только на этапе разработки

и эксплуатации конкретных проблемно-ориентированных систем. В качестве таких систем можно рассматривать мягкую экспертную систему экономического анализа (1994–1996 гг.) и мягкую экспертную систему проектирования стендов контроля (1997 г.).

МЭС экономического анализа решала задачу анализа тенденций временных рядов (ВР) экономических показателей. Такая МЭС решает одну из задач экспертной диагностики проектной деятельности и может рассматриваться как элемент САПР.

Покажем, что МЭС, представляющая собой инструментальную среду проектировщика, позволяет выполнить в автоматизированном режиме все этапы экспертной деятельности.

На первом этапе эксперт изучает точные временные ряды и строит нечеткие временные ряды, состоящие из нечетких меток – оценок значений. Данный этап назван этапом фазсификации.

На втором этапе выполняется анализ тенденций нечетких временных рядов, то есть эксперт присваивает графикам нечетких ВР наименование тенденций (рост, падение, колебание, хаос). Если поставить данную задачу как задачу распознавания изображений, то результативным оказывается применение нейроимитатора, который предусмотрен в инструментальной среде. Идентификация тенденций важна для решения задачи прогнозирования.

Третий этап заключается во взаимном сопоставлении временных рядов. Особенно значимыми являются причинно-следственные отношения различных нечетких переменных. На этом этапе экспертной диагностики разрабатывается интегрированная оценка состояния объекта, то есть объект оценивается в целом. Обычно в конкретной проблемной области приняты самостоятельные мнемонические формы для отображения интегральных оценок.

На четвертом этапе выполняется прогноз развития объекта, который осуществляется на основе сформулированных на втором этапе тенденций, то есть используется нейрокомпьютинг. Прогнозирование в ходе экспертной деятельности выполняется в узком и широком смысле. Прогнозирование в узком смысле – это прогнозирование значения временного ряда.

Предложенная схема экспертной деятельности в полном объеме была реализована лишь позднее с использованием гранулярных вычислений.

МЭС проектирования стендов контроля является экспертной системой проектирующего типа, то есть сочетает экспертизу с расчетными процедурами. Такая задача представляет собой полноценный тест на эффективность мягких гибридных технологий. При этом необходимо вести разработку в условиях принципиальной неполноты исходных данных на ранних этапах проектирования. Следовательно, ЭС должна носить характер мягкой экспертной системы, основную часть которой составляет система нечеткого вывода. Успех использования ЭС зависит от конкретности задачи экспертизы и адекватности извлеченных знаний. Разработка сложного стенда может включать в себя разработку принципиальной, структурной схем, схемотехническое проектирование и, наконец, конструирование стенда. Исходное задание конструктору

включает принципиальную схему стенда, спецификацию элементов и технико-экономические требования как к стенду, так и к режиму эксплуатации. В ходе выполнения разработки конструктор часто принимает решения, являющиеся компромиссными с точки зрения технологичности, эргономичности и стоимости стенда. Многие решения определяются не формальными нормами, а опытом конструктора. В ходе разработки конструктор выполняет выбор корпусов, передних панелей, сборочных единиц и деталей на основе стандарта предприятия, который, с точки зрения построения ЭС, сокращает пространство поиска. Выбрав хотя бы корпус и переднюю панель, конструктор решает задачу размещения элементов.

Инструментальной основой реализации оболочки МЭС служил специальный сервер нечетких данных. Такой сервер был реализован на основе сервера данных ORACLE. Встроенная модель хранения нечетких данных позволила реализовать нечеткий SQL-запрос специального вида.

Перечисленные примеры МЭС используют понятие глубоко интегрированных, гибридных интеллектуальных технологий. Несмотря на мощность данных технологий, успех любой САПР складывается за счет совмещения интеллектуальной и традиционной технологий моделирования или расчетов. Поэтому необходимо сочетание классических (вероятностных) и нечетких вычислений, использование гранулярных вычислений для классических задач, например, анализа ВР. Такое сочетание обеспечивает новая современная парадигма вычислительного интеллекта.

4 Возможности и ограничения интеллектуализации САПР на базе парадигмы вычислительного интеллекта

4.1 Вероятностные и нечеткие вычисления (на примере САПР вычислительных сетей)

Примером интеллектуальной САПР, разработанной на основе вычислительного интеллекта [26, 27], является САПР вычислительных сетей (ВС). Данная САПР обладает рядом особенностей:

- моделирует рассуждения проектировщика ВС на основе распространенного метода байесовских сетей доверия;
- использует формализованную модель трафика ВС, позволяющую применять как качественные оценки, так и результаты статистических измерений;
- дополняет известные языки имитационного моделирования с целью их адаптации к задаче автоматизированного проектирования ВС, автоматизирует методику слияния двух видов описаний: прикладного описания и описания транспортной структуры сети;
- позволяет описывать структуру ВС с разной степенью требуемой точности, например, на основе нечетких гиперграфов; использует методику учета нечетких метрик, а также алгоритм маршрутизации с применением нечетких гиперграфов и нечетких метрик;
- включает в себя функциональные модели узлов на прикладном уровне: имитационные модели серверов и клиентов.

Гибридизация нечетких и вероятностных вычислений наиболее ярко в этой работе проявилась в использовании разработанного понятия нечеткой случайной величины трафика ВС.

При построении модели трафика основной задачей является построение переменной, значения которой могут быть либо измерены, либо выражены лингвистически в форме словесной экспертной оценки. Поэтому использование в качестве формы представления трафика вероятностной величины, либо лингвистической переменной недостаточно адекватно. Модель трафика ВС в САПР ВС представляет собой нечеткую случайную величину, которая имеет вид:

$$T_r = \{A_1 / P_1, A_2 / P_2, \dots, A_n / P_n\}'$$

где A_1, A_2, \dots, A_n – нечеткие значения, которые величина T_r принимает с вероятностями P_1, P_2, \dots, P_n , $\sum_i P_i = 1$.

Каждый процесс в функциональной модели рассматривается как генератор сетевого трафика с величиной, заданной словесной оценкой. На рассматриваемом интервале времени значение трафика распределяется в соответствии с мерой возможности его оценки. Например, оценка «скорее высокий» расшифровывается как нечеткая случайная величина {«низкий»/0, «средний»/0.25, «высокий»/0.75}.

Второй пример применения парадигмы вычислительного интеллекта, использующий интеграцию классического алгоритма Дейкстры и нечетких метрик, реализован в САПР ВС для моделирования маршрутизации.

В распределенных ВС существуют факторы, которые при различных условиях оказывают влияние на параметры узлов маршрутизации и каналов передачи данных. Факторы являются непостоянными и могут изменяться. Параметрические данные, которые изменяются под влиянием данных факторов, используются для определения метрики в протоколах маршрутизации.

Введем параметры, относящиеся к узлам маршрутизации: пропускная способность маршрутизатора, задержка при передаче, стабильность работы; и параметры, относящиеся к каналам связи: пропускная способность канала, стабильность работы, задержка.

В построенной системе были использованы характеристики узлов и каналов, которые корректируют метрики.

Общая метрика определяется объединением нечетких величин узла и нечетких величин канала связи. Общий путь определяется объединением нечетких метрик, которые складываются по пути поиска маршрута.

Главным итогом работы над САПР ВС является создание нового теоретического подхода к автоматизированному проектированию ВС на основе научного направления вычислительного интеллекта, а также разработка комплекса моделей и алгоритмов для элементов ВС, позволяющих генерировать транспортную схему ВС по формализованному описанию прикладного уровня.

4.2 Бионические и нечеткие вычисления (на примере систем автоматизации архивов конструкторской документации крупных проектных организаций)

Построение архива проектной документации представляет собой сложную и трудоемкую задачу. Количество и объемы проектов существенно затрудняют проведение их кластеризации и классификации без применения средств автоматизации. Существующие средства построения подобных классификаторов не имеют возможности автоматической кластеризации документов. Кроме того, поиск в подобных системах осуществляется по ограниченному набору параметров, что затрудняет обнаружение похожих проектов. Применение автоматических методов кластеризации позволит выявить скрытые структуры в массиве документов, что упростит поиск необходимой информации. Сложные проекты часто имеют иерархическую структуру, кроме того, относятся одновременно к нескольким предметным областям и состоят из большого числа документов, что предъявляет дополнительные требования к методам автоматической кластеризации.

Задачи кластеризации электронных информационных ресурсов (ЭИР) и поиска по ее результатам решены в ходе построения интеллектуального проектного репозитория.

Под электронным информационным ресурсом в данной работе подразумевается электронный документ или набор документов. Каждый такой ресурс имеет в своем составе файл – аннотацию, описывающую содержание этого документа. Помимо аннотации, ЭИР имеет частотный портрет – набор пар: слово, содержащееся в документе – вес слова в этом документе. Частотный портрет – это пространство признаков, позволяющих сравнивать документы между собой.

Интеллектуальный проектный репозиторий состоит из ряда подсистем: инструментария для построения словарей-тезаурусов проблемной области, индексатора, комплекта кластеризаторов, подсистемы поиска ЭИР, подсистемы оценки результатов кластеризации.

Комплект кластеризаторов включает в себя кластеризатор на основе нечеткой нейронной сети Кохонена, на базе fuzzy s-means метода, на основе генетических вычислений.

Для достижения практической эффективности необходимо сочетать данные взаимодополняющие методы и в соответствии с принципами вычислительного интеллекта объединять интеллектуальную и вычислительную технологии. Так для реализации задачи кластеризации на базе fuzzy s-means метода разработаны два быстродействующих параллельных алгоритма для выполнения на многоядерном (многoproцессорном) компьютере и вычислительном кластере.

4.3 Гранулярные вычисления (на примере систем автоматизации экспертизы сложных технических систем)

Понятие гранулярных вычислений, сформированное на базе парадигмы вычислительного интеллекта, использовано при создании Internet-сервиса интеллектуального анализа временных рядов. Анализ временных рядов пока-

зателей – обязательный этап любой экспертизы сложных технических или гуманистических систем. Предложенная модель ВР позволяет идентифицировать, анализировать и прогнозировать новые знания в форме нечетких тенденций о динамике экономических показателей малых и средних предприятий, полученных по результатам публичной отчетности и экспресс-анализа. Разработанный новый интегральный метод обеспечивает многоуровневое моделирование ВР для получения числовых оценок (на основе F(fuzzy)-преобразования) и лингвистических оценок нечетких тенденций. Нечеткие тенденции, используемые в новом интегральном методе нечеткого моделирования ВР, относятся к классу элементарных нечетких тенденций, представляемых в виде их типов («Рост», «Падение», «Стабильность») и интенсивностей («Большая», «Средняя», «Малая») [8, 20–24].

Проведенное исследование результативности нового интегрального метода нечеткого моделирования ВР на основе вычислительных экспериментов с разработанным специализированным программным продуктом показывает, что метод:

- отличается от известных методов моделирования ВР извлечением новых знаний о зависимостях в нечетких тенденциях, позволяющих повысить информативность результатов моделирования и прогнозирования ВР;
- обеспечивает многоуровневое моделирование ВР для получения прогноза в числовых оценках на основе F-преобразования и в лингвистических оценках динамики ряда на основе моделей нечетких тенденций;
- соответствует значениям показателей точности моделирования ВР, установленных в требованиях технического задания.

Полученные результаты в виде Internet-сервиса экспресс-анализа предприятия по временным рядам экономических показателей (<http://tsas.ulstu.ru>) доступны любым предприятиям без ограничений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка многочисленных проблемно-ориентированных систем в рамках ряда парадигм искусственного интеллекта позволила определить и разработать новые понятия: мягкой экспертной системы, нечеткой тенденции временного ряда. Для создания ряда прикладных систем были построены новые модели и методы: нечеткой случайной величины трафика, байесовской и генетической оптимизаций вычислительной сети, интегрального метода нечеткого моделирования временных рядов. Созданы новые архитектуры построения сервера нечетких данных, интеллектуального хранилища электронных информационных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соснин П.И., Соловей Г.Б., Ярушкина Н.Г. Система поиска дефектов микропроцессорных систем. – Ульяновск : МТЦНТИП, 1985.
2. САПР тестов микропроцессорных схем / О.Н. Евсеева [и др.]. – Ульяновск : Областное правление Союза НИО СССР, 1988.
3. Ярушкина Н.Г. Инструментарий организации диалога в САПР // Численные методы и средства проектирования и испытания элементов твердотельной электроники : тр. республик. совещания, 15–17 мая 1989 г., Таллин. В 2 т. Т. 2. – Таллин : Изд-во Таллинского политехнического ин-та, 1989. – С. 75–79.
4. Ярушкина Н.Г., Соснин П.И. Интеллектуальный инструментарий проектирования и реализации диалоговых систем // Управляющие системы и машины. – 1991. – № 4. – С. 67–72.
5. Ярушкина Н.Г. Методы нечетких экспертных систем в интеллектуальных САПР. – Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 1997.
6. Ярушкина Н.Г. Нечеткие нейронные сети. Ч. 1 // Новости искусственного интеллекта. – 2000. – Т. 44–45, № 2–3. – С. 11–18.
7. Ярушкина Н.Г. Нечеткие нейронные сети. Ч. 2 // Новости искусственного интеллекта. – 2000. – Т. 46, № 4. – С. 12–17.
8. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М. : Финансы и статистика, 2004.
9. Yarushkina N. Soft hierarchy analysing method for economic expert system // Proceedings of Seventh International Fuzzy Systems Association World Congress (Prague, Czech Republic, 25–29 June 1997) – 1997. – Vol. 3. – pp. 80–82.
10. Применение нечетких моделей в экспертных системах САПР стендового оборудования / М.Я. Мактас [и др.]. // Тр. 6-й нац. конф. по искусственному интеллекту с межд. участием (Пушино, 2–4 октября 1998 г.). В 2 т. Т. 1. – М. : Физматлит, 1998. – С. 325–329.
11. Ярушкина Н.Г., Горбоконенко Е.А. Информационное обеспечение автоматизированного проектирования на основе нечетких реляционных серверов данных // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : тр. 2-й межд. науч.-практ. конф., 28–30 мая 2003 г., Коломна. В 2 т. Т.1. – М. : Физматлит, 2003. – С. 23–28.
12. Вельмисов А.П., Стецко А.А., Ярушкина Н.Г. Средства Data Mining для нечетких реляционных серверов данных // Информационные технологии. – 2007. – Т. 43, № 6. – С. 12–17.
13. Макеев А.С., Стецко А.А., Ярушкина Н.Г. Система моделирования трафика телекоммуникационных сетей на основе измерений и качественных оценок // Датчики и системы. – 2007. – Т. 103, № 11. – С. 3–7.
14. Стецко А.А., Ярушкина Н.Г. Автоматизированное проектирование вычислительной сети крупной проектной организации // Программные продукты и системы. – 2007. – Т. 80, № 4. – С. 4–6.
15. Ярушкина Н.Г., Макеев А.С., Стецко А.А. Система моделирования маршрутизации корпоративных сетей на основе нечетких метрик // Инфокоммуникационные технологии. – 2008 – Т. 6, № 2. – С. 64–70.
16. Азов М.С., Стецко А.А., Ярушкина Н.Г. Автоматизированное проектирование вычислительных сетей крупных проектных организаций // Инфокоммуникационные технологии. – 2008 – Т. 6, № 1. – С. 50–54.

17. Интеллектуальный проектный репозиторий / Н.В. Корюнова [и др.] // Тр. 11-й нац. конф. по искусственному интеллекту с межд. участием КИИ-2008 (Дубна, 28 сентября – 3 октября 2008 г.). В 3 т. Т. 3. – М. : ЛЕНАНД, 2008. – С. 345–352.
18. Ярушкина Н.Г., Островский А.А. Параллельный алгоритм FCM-кластеризации // Известия Самарского науч. центра РАН. Спец. вып. «Технологии управления организацией. Качество продукции и услуг». – 2008. – Вып. 10. – С. 212–218.
19. Ярушкина Н.Г., Чекина А.В. Кластеризация информационных ресурсов на основе генетического алгоритма // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 4 (22). – С. 66–70.
20. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В. Нечеткие временные ряды как инструмент для оценки и измерения динамики процессов // Датчики и системы. – 2007. – Т. 103, № 12. – С. 46–51.
21. Интегральный метод принятия решений и анализа нечетких временных рядов / В. Новак [и др.] // Программные продукты и системы. – 2008. – Т. 84, № 4. – С. 65–68.
22. Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Шишкина В.В. Моделирование нечеткого и гранулированного временных рядов на основе элементарных тенденций // Известия Самарского науч. центра РАН. Спец. вып. «Технологии управления организацией. Качество продукции и услуг». – 2008. – Вып. 10. – С. 223–226.
23. Ярушкина Н.Г., Перфильева И.Г., Афанасьева Т.В. Интегральный метод нечеткого моделирования и анализа нечетких тенденций // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 2 (20). – С. 59–63.
24. Разработка Internet-сервиса, интегрирующего нечеткое моделирование и анализ нечетких тенденций временных рядов / Н.Г. Ярушкина [и др.] // Автоматизация процессов управления. – 2010. – № 2 (20). – С. 64–69.
25. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / И.З. Батыршин [и др.] ; под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М. : Физматлит, 2007.
26. Ярушкина Н.Г. Вычислительный интеллект: синергизм слова и числа // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2003. – № 4. – С. 21–27.
27. Ярушкина Н.Г. Нечеткие и гибридные системы: обзор итогов и тенденций развития // Новости искусственного интеллекта. – 2003. – Т. 59, № 6. – С. 5–12.