

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В. Копытов.

Лепешкин Олег Михайлович

Ставропольский Государственный Университет.

E-mail: lom@stavsu.ru.

г. Санкт-Петербург, проспект науки, 15\2.

Тел.: +79052851649.

К.т.н.; доцент; докторант Военной Академии Связи.

Гаппоев Расул Солтанович

E-mail: ras8w18@gmail.com.

Тел.: +79887185555.

Аспирант.

Lepeshkin Oleg Mixajlovich

Stavropol State University.

E-mail: lom@stavsu.ru.

15\2, Science Avenue, St. Petersburg, Russia.

Phone: +79052851649.

Cand. of Eng. Sc.; Assistant Professor; Doctoral Student of the Military Academy of Communication.

Gappoev Rasul Soltanovich

E-mail: ras8w18@gmail.com.

Phone: +79887185555.

Graduate Student.

УДК 004.056.5+004.8+004.93

А.Ю. Максимова, О.О. Варламов

**МИВАРНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ
НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЕЙ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ
РАСШИРЕНИЕМ КОНТЕКСТА**

В работе показано, что для решения задач информационной безопасности целесообразно объединить возможности экспертных систем и методов распознавания образов. Целью работы является обоснование возможности совместного использования и взаимобогащения экспертных систем и распознавания образов. Первая задача работы – показать, как экспертные системы увеличивают возможности по распознаванию образов путем расширения контекста. Вторая задача – показать возможности использования методов анализа данных и распознавания образов для добавления знаний в экспертные системы. В работе получены следующие выводы. Экспертные системы позволяют обрабатывать больший контекст, что улучшает результаты распознавания. Применение методов распознавания для экспертных систем позволяет автоматизировано получать новые данные и правила в целях расширения контекста и самообучения. Показаны результаты экспериментов с миварными экспертными системами, которые подтвердили линейную вычислительную сложность миварного логического вывода и автоматического конструирования алгоритмов. Предлагается использовать нечеткий классификатор как источник правил для миварной экспертной системы. Миварные технологии позволяют на практике работать более чем с тремя миллионами продукционных правил, что кардинально увеличивает как возможности экспертных систем, так и адекватность распознавания образов в целях решения задач информационной безопасности.

Мивар; распознавание образов; информационная безопасность; экспертные системы; искусственный интеллект.

A.Yu. Maksimova, O.O. Varlamov

MIVARNAYA EXPERT SYSTEM FOR IMAGE RECOGNITION BASED ON FUZZY CLASSIFICATION AND MODELING OF DIFFERENT SUBJECT AREAS WITH AN AUTOMATIC EXTENSION OF CONTEXT

The paper shows that it is practical to join opportunities provided by expert systems with pattern recognition methods. The aim is to give foundation for joint utilization and interaction between expert systems and pattern recognition methods. The first objective is to show ways for expert systems to increase pattern recognition system's potential by expanding the context. The second objective is to demonstrate the potential for using methods of data analysis and pattern recognition to add knowledge to expert systems. There are the following conclusions in this paper. Expert systems can process a larger context which improves recognition results. Applying pattern recognition methods in expert systems allows to automatically generate new data and rules for context expansion and self-learning. Results of experiments with mivar expert systems are given which confirm the linear complexity of mivar inference and of automatic algorithm design. It is proposed to use a fuzzy classifier as a source of rules for mivar expert system. In practice mivar technology allows to work with more than three million of production rules thus radically increasing expert systems potential and the adequacy of pattern recognition in information security problems.

Mivar; pattern recognition; information security; expert system; artificial intelligence.

Введение. Для обеспечения информационной безопасности необходимо выявлять угрозы, создавать системы защиты и обеспечивать контроль состояния защищенности объектов. Во всех этих процессах первостепенную роль играют процессы идентификации объектов, определения их состояний и прогнозирования деятельности. При рассмотрении реальных задач, как правило, возникает необходимость учитывать различные факторы неопределенности, для преодоления которых успешно применяются методы нечеткой математики. Отметим, что в качестве объектов защиты могут рассматриваться большие и сложные системы, включающие в свой состав различные подсистемы, причем это включение может быть многоуровневым. В таких случаях регулярно возникают ситуации, когда возможно одновременное нахождение одного объекта сразу в нескольких состояниях, что обусловлено различными состояниями его подсистем. В таких сложных случаях, для решения задач идентификации объектов и определения их состояний необходимо проводить распознавание образов на основе нечеткой классификации.

Использование моделирования предметных областей повышает качество методов распознавания образов. В свою очередь, в области создания экспертных систем также используют различные методы моделирования предметных областей. Получается, что экспертные системы могут применяться в качестве систем накопления и обработки информации, т.е. контекста, для решения задач распознавания образов. С другой стороны, системы распознавания образов могут использоваться для автоматизированного получения новых данных и правил, т.е. для расширения контекста, экспертных систем. Это можно реализовать методами анализа данных и с использованием нечетких классификаторов в качестве источника правил для экспертной системы.

Таким образом, в настоящее время в научной области обеспечения информационной безопасности активно используются и методы распознавания образов, и экспертные системы. Однако сейчас не используются возможности их взаимодействия и взаимодополнения. В работе показано, что методы распознавания образов и экспертные системы можно использовать совместно. Более того, они могут взаимно усиливать свои возможности для решения как задач распознавания образов, так и автоматизированного расширения контекста экспертных систем. Вместе с тем ранее в работах [1–20] было показано, что наиболее перспективными являются миварные экспертные системы. Следовательно, разработка миварной экспертной

системы для распознавания образов на основе нечеткой классификации и моделирования различных предметных областей с автоматизированным расширением контекста является актуальной и практически значимой научной задачей.

Постановка задачи объединения экспертных систем и методов распознавания образов. Цель работы – обоснование возможности совместного использования и взаимообогащения экспертных систем и методов распознавания образов. Основные задачи работы:

1) показать как экспертные системы увеличивают возможности по распознаванию образов путем расширения контекста;

2) показать возможности использования методов анализа данных и распознавания образов для добавления знаний в экспертные системы.

Для распознавания образов целесообразно заранее выполнять моделирование требуемых предметных областей. Чем более адекватная модель объектов или предметных областей, тем точнее и адекватнее будут принимаемые решения по распознаванию образов. При выполнении моделирования на основе баз данных и баз знаний важную роль играет контекст. Подчеркнем, что фактически под контекстом принято понимать полноценную информационную модель предметной области, в которой отражаются все сущности, их свойства и отношения, а также другая необходимая информация. Таким образом, контекст – это, по существу, информационная модель предметной области. Такая модель должна включать в себя как факты (базу данных), так и правила их обработки (базу правил).

В реальной жизни все движется, изменяется и развивается, т.е. наши защищаемые объекты и системы все время изменяются. Следовательно, необходимо своевременно изменять и их информационные модели, т.е. расширять контекст. Значит моделирование различных предметных областей должно быть реализовано с автоматизированным расширением контекста.

Кроме того, в области информационной безопасности широко используются процедуры распознавания образов для различных приложений. Вместе с тем, существует проблема повышения адекватности и скорости распознавания образов. Моделирование предметных областей также важно для решения задач обеспечения информационной безопасности. В указанных задачах, а также в ряде других научных областей, важную роль играет использование контекста для повышения адекватности решения задач и накопления информации о различных предметных областях.

До недавнего времени считалось, что работать с большим контекстом слишком сложно и это занимает огромное время. Это было обусловлено тем, что в базах данных применялись слишком простые модели представления данных, которые не могли эволюционно наращиваться с изменением структуры накапливаемых данных. Вместе с тем в базах знаний применялись формальные логические методы, которые обладали переборной вычислительной сложностью (NP-полные задачи) и не позволяли работать с реальными требуемыми объемами знаний. Кроме того, важным недостатком предыдущего поколения таких систем было то, что базы данных и базы знаний не были связаны между собой и развивались независимо. Таким образом, в реальной жизни для решения задач обеспечения информационной безопасности существовала актуальная потребность в распознавании ситуаций (объектов, состояний объектов) на основе нечеткой классификации и моделировании различных предметных областей с автоматизированным расширением контекста. Для решения задач моделирования предметных областей и поддержки принятия решений применялись экспертные системы. Отметим, что в области экспертных систем также пытались решить задачу накопления и обработки информации в целях моделирования предметных областей, т.е. задачи аналогичные накоплению и обработке контекста.

Итак, в настоящее время под контекстом понимают информационную модель предметной области, которая может быть представлена в базах данных и в базах знаний. В работах [1–20] предложен миварный подход к единому накоплению и обработке информации в виде эволюционных баз данных и правил. На основе миварного подхода разрабатываются новые миварные экспертные системы, которые являются новым поколением экспертных систем, способных накапливать эволюционно и с изменением структуры неограниченные объемы данных и правил (отношений объектов) с одновременной их логической обработкой на основе продукционных правил с линейной вычислительной сложностью. В настоящее время проводятся исследования по работе с контекстом на основе миварных экспертных систем.

Задача обеспечения безопасности в банке. В системах обеспечения безопасности в организациях решается задача идентификации критических ситуаций, которые требуют немедленного оперативного вмешательства. Примером такой системы служит система видеонаблюдения в отделениях сети банков. Существует единый ситуационный центр, где собирается информация от камер видеонаблюдения, установленных в местах повышенной опасности. Анализ получаемой информации выполняет оператор, перед которым находится несколько десятков мониторов. В случае обнаружения критической ситуации он должен дать сигнал к действию службе безопасности для выполнения необходимых оперативных действий. Пусть существует множество видеокамер $V = \{V_1, \dots, V_K\}$ и множество объектов наблюдения $S = \{S_1, \dots, S_N\}$, причем $N \leq K$, а также множество ситуаций, которые могут возникнуть на объекте наблюдения, представленные в лингвистической форме: «Спокойная», «Напряженная», «Опасная». Каждая ситуация может рассматриваться как класс образов, определяемый системой. Ситуация на объекте S_i определяется по результатам анализа ситуаций по каждой видеокамере. В свою очередь для каждой камеры решается задача распознавания образов на изображениях видеоряда. Для анализа ситуации на каждом уровне применяются методы распознавания образов на основе нечеткой классификации и моделирования предметной области.

Анализ возможностей и перспектив миварных технологий. Миварный подход позволил предложить новые модели и методы обработки информации и управления [1–20]. Первые статьи были посвящены исследованию теории графов и разработке линейного матричного метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил [1–3], затем были работы по созданию миварного информационного пространства и эволюционных баз данных и правил [4–5]. Формализованное и теоретическое оформление мивары получили в [6–7], вопросы развития миваров в [8–10], а их применение для создания различных тренажеров и обучающих систем в [11–20]. Наиболее полно обзор теории и последних достижений миваров приведен в работах [4, 6, 10, 15, 18]. Миварный подход объединяет и развивает достижения в областях: баз данных, экспертных систем, вычислительных задач, логической обработки и включает две основные технологии.

1. Миварная технология накопления информации – это способ создания глобальных эволюционных баз данных и правил (знаний) с изменяемой структурой на основе адаптивного дискретного миварного информационного пространства унифицированного представления данных и правил, базирующегося на трех основных понятиях "вещь, свойство, отношение".

2. Миварная технология обработки информации – это способ создания системы логического вывода или "автоматического конструирования алгоритмов из модулей, сервисов или процедур" на основе активной обучаемой миварной сети правил с линейной вычислительной сложностью.

Фактически, миварные сети позволяют развить продукционный подход и создать автоматическую обучаемую логически рассуждающую систему. Миварный подход объединяет и развивает продукционные системы, сети Петри, онтологии, семантические сети, сервисно-ориентированные архитектуры, многоагентные системы и другие современные информационные технологии в целях создания интеллектуальных систем и систем ИИ. В настоящее время разработан программный комплекс УДАВ [9–12], в котором реализован поиск логического вывода и автоматическое конструирование алгоритмов решения задач из готовых модулей-сервисов, управляемых потоком входных данных.

Преимуществами миварного подхода являются:

- 1) линейная вычислительная сложность и реальное время работы;
- 2) решение логических и вычислительных (и других) задач;
- 3) управление потоком входных данных и оперативная диагностика;
- 4) адаптивное описание и непрерывное решение задач;
- 5) активная работа с запросами или уточнениями входных данных на эволюционной сети правил и объектов (самообучение).

Анализ современного решения задач распознавания образов. В узком смысле задача распознавания образов рассматривается как задача машинного обучения. За основу берутся элементы обучающей выборки, которые задают классы образов. Настройка и оценка качества таких систем распознавания выполняется по элементам обучающей выборки. Существуют разные подходы к построению алгоритмов распознавания. Большая группа таких алгоритмов использует механизмы статистики. Хорошие результаты достигнуты на базе мягких вычислений.

В работе [21] рассматривается постановка задачи распознавания образов с иерархической структурой классов образов. В случае, когда в качестве классов образов, рассматриваемых алгоритмом, будут взяты листья исходного дерева структуры классов образов, решать поставленную задачу можно известными классическими методами распознавания. Однако в ситуациях, когда достаточно определить принадлежность к группе или степень принадлежности образца как к классу образов, так и к группе классов образов, используются структурные методы распознавания. Такие задачи часто возникают при разработке экспертных систем.

Методы распознавания образов преимущественно использовались только для решения узких практических задач с ограниченным числом классов образов и носят ряд формальных ограничений, а системы логического вывода, экспертные системы решают более общие практические задачи. В результате оказалось, что эти области относительно слабо пересекались, хотя использование методов распознавания в рамках экспертных систем актуально и является весьма перспективным направлением.

Одним из методов построения экспертных систем является использование продукционных правил [1–20]. Проведенные научные исследования показали, что большие временные затраты при построении экспертных систем сопряжены именно с формированием базы правил, накоплением контекстной информации. В настоящее время, эта задача всегда выполняется экспертами. Так как реальные задачи работают с большими объемами информации, то количество правил очень велико. Перспективным направлением является создание методов, позволяющих пополнять базу правил автоматически или хотя бы частично автоматизировать этот процесс.

Интеллектуальный анализ данных как средство обучения миварных экспертных систем. Рассмотрим перспективы применения методов нечеткой классификации в эволюционных миварных экспертных системах. Среди большого числа разнообразных алгоритмов классификации отличительной особенностью нечеткого классификатора является способность выполнять интеллектуальный анализ данных, т.е. представлять в явном и доступном для понимания и интерпретации экспертами в виде причинно-следственные связи в процессе отнесения объ-

екта классификации к тому или иному классу. Кроме того, нечеткий классификатор отличается высокой обобщающей способностью, что позволяет применять этот метод для формирования контекста.

Нечеткие классификаторы строят ЕСЛИ-ТО правила (правила нечетких продукций) с использованием лингвистических термов для решения задач распознавания образов. Лингвистические правила для решения задач классификации содержат лингвистические условия в части антецедентов и метки классов образов в качестве консеквентов [22].

Нечеткие лингвистические правила, которые строятся нечеткими классификаторами, позволяют соединиться логическим и вычислительным механизмом принятия решений.

Существуют несколько подходов к построению нечетких классификаторов. Можно формально разделить их на подход снизу вверх и подход сверху вниз. В первом случае каждый объект обучающей выборки служит основой для продукционного правила, и впоследствии выполняются сокращения количества правил за счет обобщения знаний об объектах. Во втором случае, наоборот, выполняется декомпозиция правил до нужной степени детализации. Однако в обоих случаях строятся лингвистические гранулы информации – элементарные лингвистические высказывания [23. С. 187-203]. Использование таких гранул информации, которые извлекаются автоматически мощными средствами анализа данных, в экспертных системах позволяет пополнять базу знаний и наращивать контекст автоматически.

Нечеткая классификация и построение правил. В данной работе используется нечеткий классификатор, предложенный в [24, 25]. Приведем общую формальную постановку задачи нечеткой классификации. Дано множество W объектов ω . Объекты заданы значениями некоторых признаков x_i , $i = 1, \dots, m$. На всем множестве W существует разбиение на классы $V = \{1, \dots, k\}$, $v_i \in V$. Причем для некоторых классов выполняется свойство априорной неразделимости: $\exists V_i, V_j: V_i \cap V_j \neq \emptyset$.

Разбиение на классы может быть задано полностью или определяться некоторой априорной информацией I_0 о классах V , например, характеристическими описаниями входящих в них объектов.

Задача распознавания состоит в том, чтобы для каждого данного объекта ω по его описанию $I(\omega)$ и априорной (обучающей) информации I_0 вычислить значения нечеткого информационного вектора $\tilde{\alpha}(\omega) = (\tilde{\alpha}_1(\omega), \dots, \tilde{\alpha}_k(\omega))$, где $\tilde{\alpha}_i \in [0, 1] \cup \{\Delta\}$, где Δ – означает отказ от распознавания, а численное значение $\tilde{\alpha}_i$ определяет уверенность, с которой рассматриваемый образец можно отнести к классу V_i . Значения вектора $\tilde{\alpha}_i(\omega)$ 0 и 1 соответствуют четкой принадлежности и непринадлежности объекта ω классу V_i . В результате настройки такого классификатора строятся правила вида:

$$P1: \text{ЕСЛИ } x_1 \text{ есть } V_1 \text{ И } x_2 \text{ есть } V_1 \text{ ТО } \alpha_1(\bar{x}) = f(\bar{\mu}, \bar{x}),$$

где x_1, x_2 – значения первого и второго информативных признаков для элемента \bar{x} , $\alpha_1(\bar{x})$ – элемент нечеткого информационного вектора, соответствующий первому классу образов, $\bar{\mu}$ – вектор промежуточных значений механизма нечеткого вывода.

Правила, построенные нечетким классификатором, формируются в виде xml-структуры представленной на рис. 1.

В работах, посвященных созданию миварных экспертных систем, правила также представляются в виде xml-структуры [9–12]. В результате анализа рассмотренных xml-структур можно проследить ряд общих структур и элементов. В [26] сказано, что база правил нечетких продукций считается заданной, если заданы множество правил нечетких продукций $P = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}$, множество входных лингвистических переменных $V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ и множество выходных лингвистических переменных $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$. Если объединить множества V и W как множество объектов, то получим структуру, представимую в виде двудольного графа миварных сетей.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>
<root>
<variables>
  <lingvo name="P1" description="Первый информативный признак">
    <universum>
      <begin value="0" />
      <end value="100" />
    </universum>
    <terms>
      <term id="P1.C1" name="Первый класс образов" function="obj1" />
      <term id="P1.C2" name="Второй класс образов" function="obj2" />
      <term id="P1.C3" name="Третий класс образов" function="obj3" />
      ...
    </terms>
  </lingvo>
  ...
</variables>
<rules>
  <rule id="R1" >
    <in value="X1" term="P1.C1" />
    <out value="Alfa1" />
  </rule/
  ...
</rules>
</root>

```

Рис. 1. Пример записи лингвистических переменных и правил нечеткой классификации в форме XML

Классические алгоритмы распознавания работают обычно с небольшим числом классов. Однако в случаях задач идентификации приходится иметь дело со значительным количеством таких классов образов. Так как обучение систем распознавания осуществляется по обучающей выборке, то в случае увеличения числа классов и увеличения алгоритмов распознавания, значительно возрастает сложность настройки параметров классификатора. Предлагается обучать правила для одного класса на урезанных выборках, в которых элементы делятся на принадлежащие этому классу и не принадлежащие. Такой же механизм подходит и для групп – правила, относящиеся к группе настраиваются по модифицированным выборкам. Так как количество образцов обучающей выборки, не принадлежащих к рассматриваемому классу, обычно велико, можно пропорционально его сокращать. Достоинство нечетких классификаторов в том, что они одновременно являются алгоритмами распознавания образов и анализа данных, и строят в автоматизированном режиме правила нечетких продукций.

Результаты практических исследований и экспериментов. В настоящее время создано уже несколько прототипов экспертных систем, которые реализовали на практике миварные сети. Созданы прототип тренажера логических переключений электрических подстанций и распределенных электросетей с трехмерным интерфейсом [13–17] и программный комплекс УДАВ [9–12]. Сергушиным Г.С. реализован программный комплекс "Физика падающего тела" и прототип миварной экспертной системы управления двигателем автомобиля [10, 18–19].

Для проведения вычислительных экспериментов реализован генератор миварных матриц описания предметных областей. Основным ограничением по количеству обрабатываемых объектов является ресурс оперативной памяти компьюте-

ра и корректность работы с ней операционной системы. Использовались два семейства операционных систем: Windows и MacOS.

На семействе операционных систем Windows удалось получить следующие результаты – до 150 000 объектов и 450 000 правил на компьютерах с оперативной памятью 4 Гб. В зависимости от процессора, время решения составляло от нескольких миллисекунд до 47 минут.

Наибольший интерес представляют эксперименты, проведенные на ноутбуке MacBook, операционная система MacOSX версии 10.6.7, процессор Intel Core 2DUO с частотой 2 ГГц и с оперативной памятью DDR3 объемом 4 Гб. На этом ноутбуке в различные периоды времени были проведены тестовые испытания двух версий тестовой программы: В1 и В2. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

Итак, на обычном серийном ноутбуке MacBook не оптимизированная однопоточная тестовая программа, написанная на языке ЯВА, обрабатывает миварные матрицы размерности 1 миллион объектов на 3,5 миллиона параметров. Максимальный результат: 1 170 007 объектов, 3 510 015 правил, программа работала около 200 минут, т.е. немногим более 3 часов.



Рис. 2. Результаты практических исследований программного комплекса

Оценим достигнутый результат в 3,5 миллиона правил для реальных экспертных систем. Для сравнения приведем следующие оценки: система управления крупными атомными станциями оперирует всего 20 000 правил; описание всей программы средней школы и технического вуза потребует около 300 правил на каждую научную область и в сумме не превысит 100 000 правил. Напомним, что классические продукционные и предикатные логические системы не могли работать и с сотней правил. Таким образом, возможности программного комплекса УДАВ и миварного метода обработки позволяют создать глобальную экспертную систему, в которой будут собраны все формализованные знания человечества.

Такой подход позволит накапливать и **обрабатывать контекст любого объема**. Вычислительные эксперименты подтверждают теоретические выводы о линейной вычислительной сложности миварного метода обработки и о возможности перехода к новому поколению экспертных систем, накапливающих и обрабатывающих

миллионы правил. Новое поколение миварных экспертных систем будет служить технической основой для накопления и обработки контекстов для решения задач распознавания образов и для множества других практически значимых задач.

Выводы. Экспертные системы позволяют обрабатывать большой контекст, что улучшает результаты распознавания. Применение методов распознавания для экспертных систем позволяет усовершенствовать методы накопления знаний и автоматизировано получать новые данные и правила в целях расширения контекста и самообучения.

Линейную сложность миварного логического вывода и автоматического конструирования алгоритмов подтверждают результаты экспериментов. Предлагается автоматизировать механизмы наполнения базы правил миварной экспертной системы на основе нечеткого классификатора. Обоснована необходимость интеграции методов анализа данных, распознавания образов и разработки экспертных систем для задач информационной безопасности.

На основе миварных сетей создан программный комплекс УДАВ, который обрабатывает более 1,17 млн переменных и более 3,5 млн правил на персональных компьютерах и ноутбуках. Приведены результаты практических расчетов и решений различных прикладных задач, которые на практике подтверждают линейную вычислительную сложность конструирования алгоритмов в формализме миварных сетей. Программный комплекс УДАВ используется как для решения логических, так и вычислительных задач. Приведены сведения о практической реализации нескольких миварных экспертных систем.

Миварные технологии позволяют перейти к новому поколению экспертных систем, интеллектуальных пакетов прикладных программ и созданию автоматически обучаемых эволюционных, активных, логически рассуждающих информационных систем реального времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Варламов О.О.* Алгоритм разреза сети по вершинам и ребрам ее графа сложности $O(n^2)$ // Труды НИИР: Сб. ст. – М., 1997. – С. 92-97.
2. *Варламов О.О.* Разработка адаптивного механизма логического вывода на эволюционной интерактивной сети гиперправил с мультиактивизаторами, управляемой потоком данных // Искусственный интеллект. – 2002. – № 3. – С. 363-370.
3. *Варламов О.О.* Разработка линейного матричного метода определения маршрута логического вывода на адаптивной сети правил // Известия вузов. Электроника. – 2002. – № 6. – С. 43-51.
4. *Варламов О.О.* Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. – М.: Радио и связь, 2002. – 288 с.
5. *Варламов О.О.* Основы многомерного информационного развивающегося (миварного) пространства представления данных и правил // Информационные технологии. – 2003. – № 5. – С. 42-47.
6. *Варламов О.О.* Системный анализ и синтез моделей данных и методы обработки информации в самоорганизующихся комплексах оперативной диагностики: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: МАРТИТ, 2003. – 307 с.
7. *Варламов О.О.* Системный анализ и синтез моделей данных и методы обработки информации в самоорганизующихся комплексах оперативной диагностики: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: МАРТИТ, 2003. – 44 с.
8. *Варламов О.О.* Эволюционные базы данных и знаний. Миварное информационное пространство // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2007. – № 2 (77). – С. 77-81.
9. *Владимиров А.Н., Варламов О.О., Носов А.В., Потапова Т.С.* Применение многопроцессорного вычислительного кластера НИИР для распараллеливания алгоритмов в научно-технических и вычислительных задачах // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2009. – № 3. – С. 120-123.

10. Санду Р.А., Варламов О.О. Миварный подход к созданию интеллектуальных систем и искусственного интеллекта. Результаты 25 лет развития и ближайшие перспективы. – М.: Стандартиформ, 2010. – 339 с.
11. Варламов О.О., Санду Р.А., Владимиров А.Н., Бадалов А.Ю., Чванин О.Н. Развитие миварного метода логико-вычислительной обработки информации для АСУ, тренажеров, экспертных систем реального времени и архитектур, ориентированных на сервисы // Труды НИИР. – 2010. – № 3. – С. 18-26.
12. Владимиров А.Н., Варламов О.О., Носов А.В., Потапова Т.С. Программный комплекс «УДАВ»: практическая реализация активного обучаемого логического вывода с линейной вычислительной сложностью на основе миварной сети правил // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2010. – Т. 1. – С. 108-116.
13. Варламов О.О. Миварный подход к разработке интеллектуальных систем и проект создания мультипредметной активной миварной интернет-энциклопедии // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2011. – № 1. – С. 55-64.
14. Подкосова Я.Г., Васюгова С.А., Варламов О.О. Использование технологий виртуальной реальности для трехмерной визуализации результатов моделирования и для миварных обучающих систем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2011. – № 1. – С. 226-232.
15. Варламов О.О. Обзор 25 лет развития миварного подхода к разработке интеллектуальных систем и создания искусственного интеллекта // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2011. – № 1. – С. 34-44.
16. Подкосова Я.Г., Варламов О.О., Остроух А.В., Краснянский М.Н. Анализ перспектив использования технологий виртуальной реальности в дистанционном обучении // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 2 (33). – С. 104-111.
17. Подкосова Я.Г., Васюгова С.А., Варламов О.О. Новые возможности и ограничения технологий виртуальной реальности для проведения научных исследований, трехмерной визуализации результатов моделирования и создания миварных обучающих систем и тренажеров // Труды Научно-исследовательского института радио. – 2011. – № 2. – С. 5-16.
18. Материалы веб-сайта Варламов О.О. // <http://www.ovar.narod.ru>. 2011.
19. Материалы веб-сайта компании МИВАР // <http://www.mivar.ru>. 2011.
20. Варламов О.О., Санду Р.А., Владимиров А.Н., Носов А.В., Оверчук М.Л. Миварный подход к созданию мультипредметных активных экспертных систем в целях обучения информационной безопасности и управления инновационными ресурсами в образовании // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 11 (112). – С. 226-232.
21. Максимова А.Ю. Многоуровневая организация системы поддержки принятия решений для лаборатории контроля качества // Материалы Международной научно-технической конференции пос. Кацивели, АР Крым, 19-23 сентября 2011 г. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы. ИИ-2011». – Донецк: ИПИИ «Наука и освіта», 2011. – С. 120-123.
22. *Ishibuchi Hisao, Nakashima Tomoharu, Nii Manabu. Classification and Modeling with Linguistic Information Granules, Spriger, 2005. – 307 p.*
23. Pedrycz, W., Skowron, A., Kreinovich, V. (eds.): *Handbook of Granular Computing*. John Wiley & Sons, New York (2007).
24. Козловский В.А., Максимова А.Ю. Решение задачи распознавания образов по нечетким портретам классов // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 221-228.
25. Козловский В.А., Максимова А.Ю. Нечеткая система распознавания образов для решения задач классификации жидких нефтепродуктов // Научные работы ДонНТУ, серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника» – 2011. – № 13 (185). – С. 200-205.
26. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор О.Б. Макаревич.

Максимова Александра Юрьевна

Институт прикладной математики и механики НАН Украины.

E-mail: lunaplus@mail.ru, maximova.alexandra@mail.ru.

83114, Украина, г. Донецк, ул. Розы Люксембург, 74.

Тел.: +380677953378.

Аспирант.

Варламов Олег Олегович

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ).

E-mail: ovar@narod.ru; info@mivar.ru.

125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64.

Тел.: +79262767645.

Д.т.н.; профессор кафедры прикладной математики.

Maksimova Aleksandra Yur'evna

Institute of Applied Mathematics and Mechanics National Academy of Science of Ukraine.

E-mail: lunaplus@mail.ru; maximova.alexandra@mail.ru.

74, Rosa Luxemburg Street, Donetsk, 83114, Ukraine.

Phone: +380677953378.

Postgraduate Student.

Varlamov Oleg Olegovich

Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI).

E-mail: ovar@narod.ru; info@mivar.ru.

64, Leningradskiy Prosp., Moscow, 125319, Russia.

Phone +79262767645.

Dr. of Eng. Sc.; Professor of Department of Applied Mathematics.