

О. О. Варламов

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия;
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия;
НИИ «МИВАР», Москва, Россия

МИВАРНЫЙ ПОДХОД КАК ОСНОВА КАЧЕСТВЕННОГО ПЕРЕХОДА НА НОВЫЙ УРОВЕНЬ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Главной новизной миварного подхода является то, что все три миварные технологии объединяются на основе гносеологических многомерных эволюционных баз данных и правил «вещь–свойство–отношение», в которых реализован линейной сложности автоматический конструктор алгоритмов и/или логический вывод на двудольных ориентированных миварных сетях «объект–правило». Мивары на практике доказали, что теперь логический вывод выполняется на обычном ноутбуке со скоростью более 5 млн продукционных правил в секунду. Задача логического вывода на продукциях должна быть исключена из класса NP-полных задач, т.к. найден и запатентован миварный способ логического вывода с линейной вычислительной сложностью, который не использует ни полный перебор вариантов, ни эвристики. В информатике мивары решают задачи накопления и обработки информации. На основе миварного подхода по итогам 2017 года уже созданы программные продукты для экспертных систем – «Wi!Mi Разуматор», для понимания смысла текстов – Tel!Mi, для систем принятия решений для автономных роботов – Robo!Razum. Технология Wi!Mi используется в Tel!Mi для понимания смысла. Продукт Tel!Mi позволяет по текстам инструкций автоматически обучать «Wi!Mi Разуматор» и Robo!Razum. В совокупности эти продукты можно использовать в области Интернета вещей (IoT) и других киберфизических систем, так как миварные продукты «Wi!Mi Разуматор», Tel!Mi и Robo!Razum могут работать на одном обычном (достаточно дешевом) вычислительном модуле «процессор–память». Таким образом, миварный подход к накоплению данных и обработке информации объединяет основные направления искусственного интеллекта на логическом уровне исследований: экспертные системы, понимание языка, распознавание образов, АСУ и интеллектуальные автономные роботы. Следовательно, именно миварный подход является основой качественного перехода на новый уровень в области искусственного интеллекта.

Ключевые слова: мивар, миварные сети, интеллектуальные системы, искусственный интеллект, базы данных, экспертные системы, понимание смысла, распознавание образов, робот, вычисление алгоритмов, миварный метод быстрого логического вывода.

Для цитирования: Варламов О. О. Миварный подход как основа качественного перехода на новый уровень в области искусственного интеллекта // Радиопромышленность. 2017. № 4. С. 13–25.

О. О. Varlamov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; Moscow automobile and road construction state technical university, Moscow, Russia; MIVAR, Moscow, Russia

THE MIVAR APPROACH AS A BASIS FOR A QUALITATIVE TRANSITION TO A NEW LEVEL IN THE FIELD OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The mivar approach main originality is that three mivar technologies are combined on the basis of epistemological multidimensional evolutionary databases and the «Thing–Property–Relation» rules in which the automatic algorithm constructor with linear computational complexity and/or the logical inference on bipartite directed mivar networks «Object–

Rules» are implemented. Mivar practical using proved that logical inference is made now on an ordinary laptop with a speed of more than 5 million product rules / second. The task of logical inference on products must be excluded from the class of NP-complete tasks, because mivar method of logical inference with a linear computational complexity solution not using either a full search of options or heuristics is found and patented. In computer science mivars solve the problems of accumulating and processing information. By results of 2017 software products based on the mivare approach have already been created for: Expert systems – Wi!Mi; Razumator; Texts meaning understand – Tel!Mi; Decision-making systems for autonomous robots – Robo!Razum. Wi!Mi technology is used in Tel!Mi for meaning understanding. Tel!Mi automatically allows to teach Wi!Mi Razumator and Robo!Razum with the texts of the instructions. In total these products can be used for the Internet of things and other cyberphysical systems since mivar products Wi!Mi, Tel!Mi, Robo!Razum can work on one usual (rather cheap) computing module «processor-memory». So the mivar approach to the accumulation of data and information processing combines the main directions of artificial intelligence at the logical level of research: expert systems, language understanding, image recognition, ACS and intelligent autonomous robots. Therefore it is the mivar approach that is the basis for a qualitative transition to a new level in the artificial intelligence field.

Keywords: mivar, mivar nets, intelligent systems, artificial intelligence, databases, expert systems, meaning understanding, image recognition, robot, algorithms calculation, mivar method of fast logical inference.

For citation: Varlamov O. O. The mivar approach as a basis for a qualitative transition to a new level in the field of artificial intelligence. Radiopromyshlennost, 2017, no. 4, pp. 13–25 (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2017-4-13-25

Введение

Материалы о миварных технологиях впервые были опубликованы в 2002 году [1]. Обобщение и развитие теории искусственного интеллекта (ИИ) на основе миваров было теоретически обосновано в работах 2007 года [2, 3]. С 2012 года начаты работы по комплексному моделированию процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов на основе миварных технологий [4, 5]. Отметим, что первые публикации по использованию миваров для роботов и робототехнических комплексов (РТК) появились еще в 2004 году [6], а в январе 2017 года впервые беспилотный автомобиль проехал по зимним улицам города Москвы с использованием миварных экспертных систем [7]. Особую роль в развитии миварных систем играет 2015 год, когда были одновременно опубликованы работы о применении миваров практически на всех направлениях ИИ: анализ и сравнение с онтологиями и когнитивными картами [8–10], создание миварной машины логического вывода [11, 12], применение миварных технологий для АСУ [13], медицины [14], школьного обучения [15], создания виртуальных консультантов [16] и различных роботов [17, 18].

Важно отметить, что с 2016 года исследование и развитие миварных технологий проводится на кафедре ИУ5 МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках направления «Гибридные интеллектуальные информационные системы» (ГИИС) [19], которое изучает информационные системы поддержки принятия решений [20], метаграфы [21], методы выбора вариантов решения и управления [22–24], семантические сети понятий [25], генерацию программ [26], нейросетевые алгоритмы распознавания [27, 28], методы визуализации [29] и анаморфирования [30]. Также продолжается развитие и исследование миварных темпоральных моделей баз данных [31–35].

Анализ места миварного подхода в искусственном интеллекте

В области искусственного интеллекта (ИИ) выделяют различные уровни и направления исследований по созданию систем ИИ, которые можно отобразить в трехмерном пространстве «Уровни–Направления–Системы» (рис. 1).

Миварный подход к накоплению данных и обработке информации объединяет основные направления искусственного интеллекта на логическом уровне исследований:

1. Экспертные системы.
2. Понимание языка.
3. Распознавание образов.
4. АСУ.
5. Интеллектуальные автономные роботы (рис. 2).

Что такое миварный подход и миварные технологии

Миварный подход – это три новые информационные технологии (рис. 3):

1. Эволюционные многомерные базы данных и правил, в которых «мивар» – это точка трехмерного гносеологического базиса «Вещь–Свойство–Отношение».
2. Линейной вычислительной сложности логический вывод (автоматический конструктор алгоритмов из модулей «причинно-следственных зависимостей») на основе двудольных ориентированных «миварных сетей» «Объект–Правило» в многомерном пространстве, объединяющих сети Петри с продуктами «Если – То».
3. Глобальные информационные модели для обработки «контекстов» и принятия решений в реальном времени, когда базы данных, логический

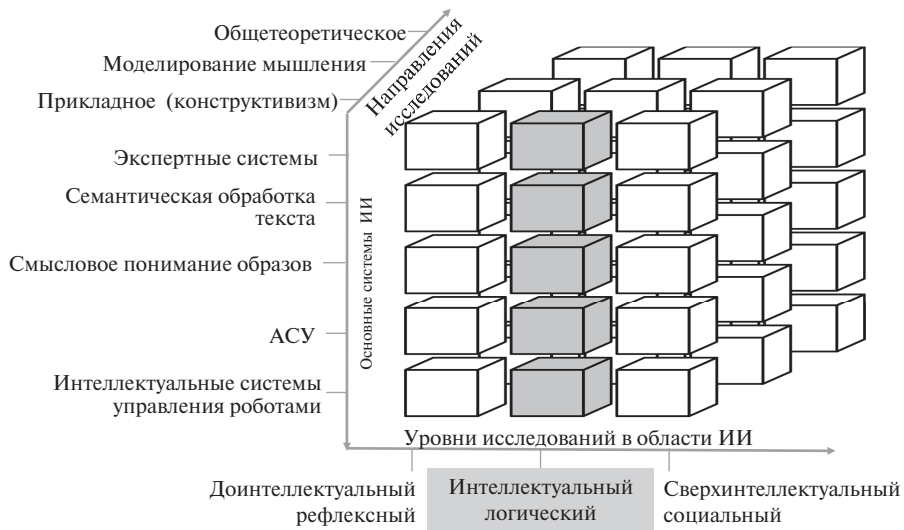
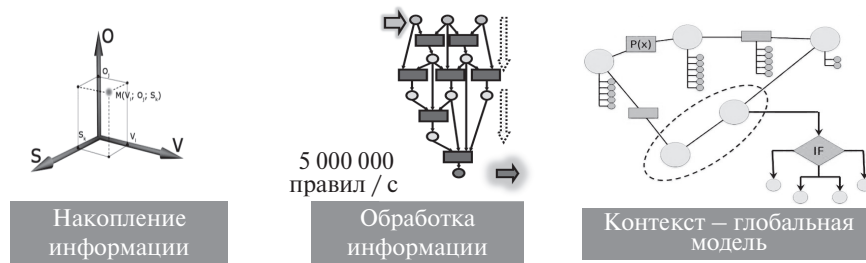


Рисунок 1. Уровни, направления и системы ИИ



Рисунок 2. Роль и место миварных технологий в логическом ИИ



Базы данных, логический вывод и вычислительная обработка представляют собой единое целое, что позволяет производить вычисления в реальном времени

Рисунок 3. Три миварные технологии

вывод и вычислительная обработка представляют собой единое целое в миварном информационном пространстве с основным базисом «Вещь–Свойство–Отношение».

Эти информационные технологии, разработанные в России, позволили перейти на качественно новый уровень и создать Логический Искусственный Интеллект. Обоснуем это более подробно. До недавних пор главным ограничителем развития систем искусственного интеллекта на логическом уровне «причинно-следственных рассуждений» являлась факториальная вычислительная сложность ($N!$) логического вывода от количества правил (N). Как известно, логический вывод относится к классу последовательных задач, которые практически не распараллеливаются и могут решаться только на одном «ядре процессора». Поэтому применение многопроцессорных систем не решает задачу сокращения времени логического вывода, которая ниже проанализирована более подробно. Уникальность миварного подхода заключается в использовании миварной многомерной базы данных «Вещь–Свойство–Отношение» (VCO) и логического вывода с линейной вычислительной сложностью (на миварных сетях).

МИВАР – это аббревиатура «Многомерная Информационная Варьирующаяся Адаптивная Реальность», или MIVAR – Multidimensional Informational Variable Adaptive Reality. Мивар – это точка многомерного миварного пространства.

Миварное пространство <Вещь, Свойство, Отношение> (VSO) позволяет описывать реальный мир в формализме многомерных гиперграфов и обобщает все основные модели представления знаний: ontologies (онтологии); trees (деревья принятия решений); binary graphs (бинарные графы); ER-diagram (модель «сущность–связь»); UML (бизнес-процессы); Statistics – статистические модели; модели баз данных (реляционные, сетевые, иерархические и др.). Получаем, что реальный мир можно описать в семимерном пространстве $\langle X, Y, Z, T, V, S, O \rangle$.

Роль снижения вычислительной сложности логического вывода до линейной

Миварные сети позволили кардинально снизить вычислительную сложность логического вывода на продукциях (с факториальной до линейной). Это частное решение одной из семи задач тысячелетия – $NP = P$. Теперь логический вывод – задача с линейной вычислительной сложностью относительно количества правил, а не NP . Миварные сети позволяют проводить логическую обработку в многомерном пространстве VSO. Совместное использование миварных сетей и пространства VSO позволяет строить большие (с миллионами вершин и ребер многомерного гиперграфа) «модели мира» и на качественно

новом уровне использовать «контексты». Это является фундаментом для логического искусственного интеллекта «третьего поколения».

С помощью программного модуля «Конструктор экспертных систем миварный (КЭСМИ) “Wi!Mi Разуматор”» (включен в Реестр российского программного обеспечения Минкомсвязи России) созданы качественно новые экспертные системы, обрабатывающие более 5 миллионов правил за доли секунды на одном обычном процессоре, что актуально для ситуационных центров и автономных роботов. Логический вывод в КЭСМИ реализован на миварных сетях.

Понимание естественного языка

Для понимания естественного языка необходимо строить большие картины мира и учитывать множество контекстов. Миварный продукт «Текстовый эмулятор личности» (ТЭЛМИ) TellMi позволяет строить многомерные модели текстов в формализме пространства <Вещь, Свойство, Отношение>. В настоящее время это позволило менее чем за месяц создать миварную модель VSO по толковому словарю Ожегова и накопленным обучающим текстам с размерностью миварной сети (двудольного графа) 160 000 вершин (вещей) на 600 000 ребер (отношений) в 17-мерном пространстве. Отметим, что основное время было затрачено на анализ и предварительную обработку специфического оформления толкового словаря. Автоматическая обработка самого текста, содержащего порядка 100 тысяч словарных статей (с учетом разных значений у одного слова), заняла менее двух часов. Миварный подход позволяет обрабатывать тексты на таких сверхбольших объемах двудольных графов в реальном масштабе времени на обычных компьютерах.

Определим, что такое «понимание смысла текста». Формализация термина «Понимание смысла» основана на выделении пяти уровней неопределенности (рис. 4). Каждому произнесенному слову (набору фонем) соответствует несколько слов с ошибками. Каждому слову с ошибками может соответствовать несколько словоформ. Каждой словоформе может соответствовать несколько слов. Каждому слову может соответствовать несколько концептов. Концепт – это слово в конкретном значении, например, как в русском толковом словаре Ожегова. Отметим, что в обратном порядке все отношения также являются множественными (тип отношения «многие-ко-многим»): каждому концепту может соответствовать несколько разных слов, каждому слову может соответствовать несколько словоформ, каждой словоформе может соответствовать несколько слов с ошибками, каждому слову с ошибками может соответствовать несколько вариантов произнесения слов (наборов фонем).

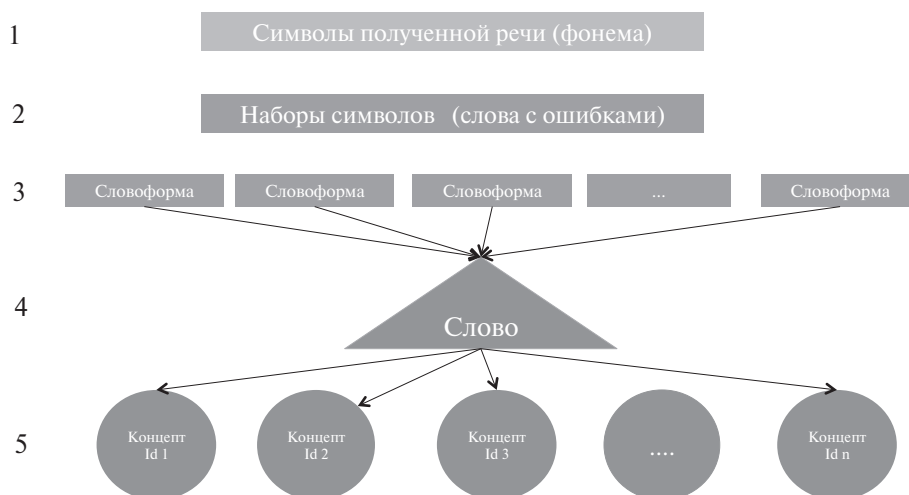


Рисунок 4. Пять уровней понимания смысла

Текст будем считать «понятым», если сняты все неопределенности на уровнях словоформ, слов и концептов, а для каждого слова предложения найден один концепт. Рассмотрим пример понимания смысла некоторого предложения (рис. 5). Мы анализируем предложение, которое представляет собой набор словоформ. Для каждой словоформы находим соответствующее ей слово. Каждому слову ставятся в соответствие все его возможные концепты в разных контекстах. Потом анализируем: есть ли одно одинаковое значение контекста у этих концептов каждого слова. Если такое значение есть, то для каждого слова выбираются концепты из этого контекста. Если значения нет, то переходим к следующему предложению и анализируем весь текст.

Таким образом, мы однозначно переходим от слов к концептам и это означает понимание смысла предложения. Все концепты являются

вершинами многомерного гиперграфа в пространстве <Вещь, Свойство, Отношение>. Вся «Картина мира» – это многомерный граф. Контекст – это некоторый подграф «Картины мира», в котором ребрами связаны все концепты, определяющие такой контекст. При выполнении алгоритма понимания смысла поиск концептов и их контекстов осуществляется в многомерном графе путем применения миварных сетей. В этом графе «Картины мира» автоматически формируют миварные сети ориентированных двудольных графов для каждого подграфа контекста. При анализе предложения для всех слов определяют возможные концепты из «Базы данных концептов» (набор всех вершин графа «Картина мира»). Для каждого концепта известно, какому подграфу контекста он принадлежит. Если при анализе предложения возникает неопределенность и возможны несколько контекстов,

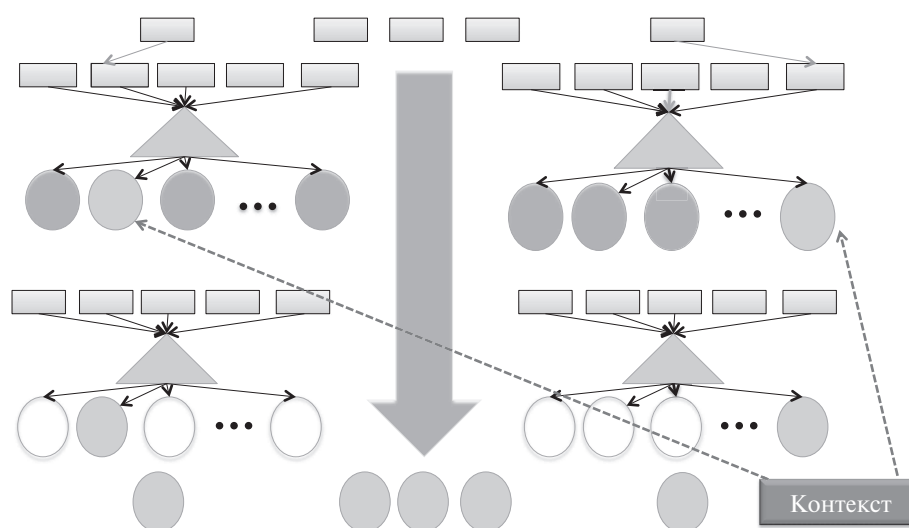


Рисунок 5. Формализация термина «понимание смысла текста»

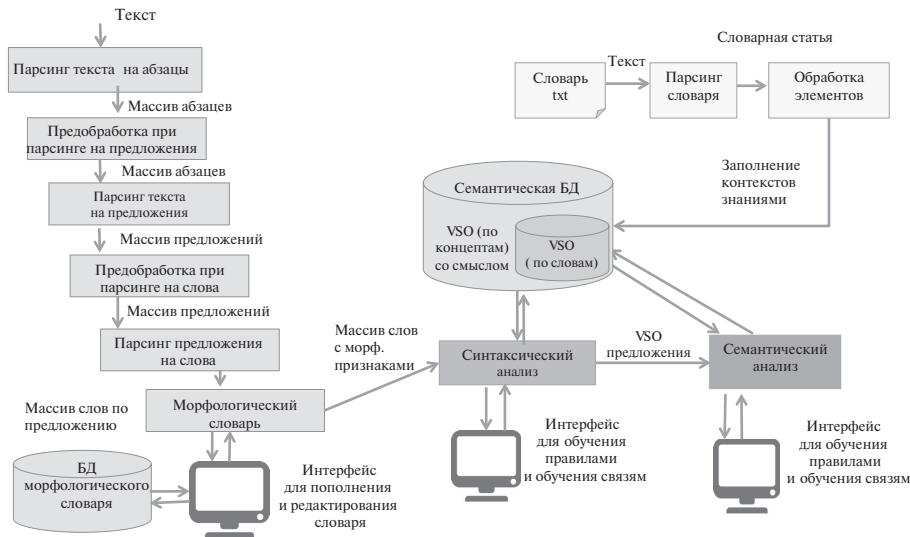


Рисунок 6. Общая схема работы системы Te!Mi

то в каждом подграфе контекста автоматически запускают механизм логического вывода (аналог продукта «Wi!Mi Разуматор») для поиска в многомерном графе путей, которые связывают «вершины-концепты» в рамках одного подграфа контекста. Как только мы находим, что у каждого слова есть концепт, принадлежащий одному и тому же подграфу контекста, то предложение считается понятым и все остальные концепты отбрасываются.

Если снять неопределенность не удалось и остались концепты в разных контекстах, то (как и в реальном понимании смысла текстов) для анализа берется следующее предложение, и оно анализируется с учетом полученных ранее вариантов контекстов. Если текст написан «со смыслом» и в «одном контексте», то он в конце концов позволит снять все неопределенности и перейти от слов к концептам.

В противном случае необходимо провести дополнительное обучение системы. Общая схема работы системы Te!Mi приведена на рис. 6.

Модули семантического анализа и семантической базы данных основаны на аналоге продукта «Wi!Mi Разуматор». Фактически, при помощи «механизма логического вывода миварных сетей» (Wi!Mi) мы быстро находим подграфы контекстов в большом многомерном графе картины мира. По всем концептам каждого слова предложения мы попадаем в граф «Картина мира», в котором выделены подграфы по контекстам. Если один концепт каждого слова попадает в один подграф контекста, то этот контекст определяется как основной, а все остальные концепты и их контексты отбрасываются. Конкретный пример анализа текста приведен на рис. 7.

Пример: «Я выбрал уютную кофейню. Я повесил свой дождевик на вешалку, чтобы он просох»

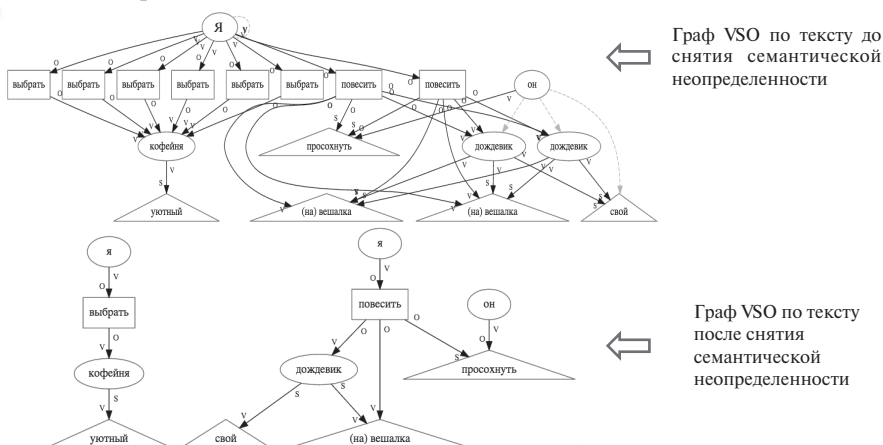


Рисунок 7. Пример снятия семантической неопределенности в тексте

Важно подчеркнуть, что миварный подход позволяет в явном виде хранить информацию о последовательности действий в тексте (рис. 8). Это позволяет получить на вход системы Tel!Mi тексты инструкций и построить по ним соответствующие модели текстов в «Картина мира». Затем такие модели автоматически преобразуются в двудольные ориентированные миварные сети, которые являются входными данными для экспертных систем Wi!Mi.

Таким образом, есть практические реализации обучения экспертных систем текстовыми инструкциями, что позволяет автоматически обучать экспертные системы Wi!Mi путем обработки текстов в системе Tel!Mi. Это решает проблему создания сложных реальных моделей в тысячи и миллионы правил для Wi!Mi.

Для понимания смысла картинок (смысловое распознавание образов) миварные технологии применяются аналогично пониманию смысла текстов. На том же самом многомерном графе «Картина мира» строятся подграфы контекстов, но применяются другие признаки, получаемые при распознавании образов (например, цвет, текстура, форма, контур, взаимное расположение объектов).

Мивары для АСУ и роботов

Для создания автоматизированных систем управления (АСУ) на основе миварных технологий формируется формализованное описание системы управления в виде многомерного гиперграфа VSO. Далее, аналогично экспертным системам, создается миварная сеть описания системы управления с применением Wi!Mi. В отличие от экспертных систем (в ручном режиме запускаемых аналитиком «нажатием клавиши»), для АСУ дополнительно к Wi!Mi создается подсистема автоматического ввода исходных данных с датчиков и запуска расчета логического вывода, а также подсистема вывода

управляющей информации на «акторы». Для АСУ можно использовать только серверную версию Wi!Mi. Объединение Wi!Mi, подсистемы ввода данных с датчиков, подсистемы вывода управляющих воздействий на акторы, а также необходимые драйверы (утилиты) образуют еще один миварный продукт: АСУ «РобоРазум» (Robo!Razum).

Интеллектуальная система принятия решений (СПР) для управления роботами может включать в себя все три миварных продукта: Wi!Mi, Tel!Mi, Robo!Razum, но обязательным является серверный Robo!Razum на основе одного автономного вычислительного модуля.

Главным качественным отличием интеллектуальной системы управления роботами является то, что все программы, данные и знания находятся внутри одного небольшого автономного робота. Аналогично эти технологии можно использовать для Интернета вещей и других киберфизических систем, так как миварные продукты Wi!Mi, Tel!Mi, Robo!Razum могут работать на обычном вычислительном модуле (вычислительный процессор и от 4 Гб оперативной памяти).

Роль вычислительной сложности логического вывода для принятия решений на логических правилах в робототехнических комплексах

В области планирования действий роботов существует показатель «время принятия решений в различных ситуациях». Это время измеряется в секундах. Традиционно для оценки времени принятия решения применяли полный перебор всех возможных вариантов комбинаций элементарных действий. В экспертных системах под «элементарным действием» понимают «правило» в формате «Если – То». Соответственно, получаем типичную задачу комбинаторики: если в некоторой ситуации

Пример: «Я выбрал уютную кофейню. Я повесил свой дождевик на вешалку, чтобы он просох»



Рисунок 8. Пример понимания последовательности действий в тексте

возможно N элементарных правил, то общее количество «вариантов комбинаций в такой ситуации» будет $N!$ (факториал). Решение представляет собой «набор последовательных правил» (алгоритм), и он может быть найден случайным образом и за один шаг. Однако по традиции при определении времени нахождения решения исходят из понятия «самый худший случай» – это когда гарантированно найдено решение задачи, т.е. в роботах (или для ситуационных центров) это будет алгоритм из элементарных действий. Было принято считать, что «автоматический конструктор алгоритмов», или «логический вывод», – это NP -полная задача, т.е. общее количество вариантов ситуаций в «самом худшем случае» равно факториалу от количества правил – $N!$.

В вычислительной математике определено понятие «вычислительная сложность задачи»: для гарантированного решения задачи необходимо выполнить определенную последовательность операций на компьютере, что дает возможность для каждой задачи определить, сколько операций необходимо выполнить на компьютере. Например, для логического вывода применяют понятие «шаг решения задачи», когда происходит проверка одного варианта решения задачи. Напомним, что общее количество вариантов определяется как $N!$ (факториал). Известно время выполнения одной операции на компьютере (для каждого процессора – это его «скорость», которая и измеряется «количеством операций в секунду»).

Время решения задачи определяется следующим образом: отношение количества «шагов решения задачи» к «скорости компьютера».

Для компьютеров вычислительная мощность измеряется во флотах (количество операций с плавающей запятой в секунду) и составляет сегодня для одного процессора примерно 10^{11} -й степени.

На данный момент принято причислять к суперкомпьютерам системы с вычислительной мощностью более 10 терафлопсов (10×10^{12} , или десять триллионов флотов; для сравнения, среднестатистический современный настольный компьютер имеет производительность порядка 0,1 терафлопса). Одна из наиболее мощных на тесте HPL компьютерных систем – китайский Tianhe-2 – имеет производительность, превышающую 33,8 петафлопса.

Таким образом, для расчета примерного времени решения задачи количество «правил» делим на скорость компьютера в секундах. Для примерного определения скорости можно просто делить $N!$ на 10^{11} -й степени.

В таблице показан пример оценки времени для логического вывода или автоматического построения алгоритмов при полном переборе.

Видно, что уже 15 правил требуют более 10 с, что не позволяет принимать решения и управлять роботом в реальном времени.

20 правил – это $2\,432\,902\,008\,176\,640\,000$ вариантов, т.е. $2 \cdot 10$ в 18-й степени; делим на 10^{11} в 11-й степени и получаем примерно 10^7 в 7-й степени секунд (один год).

30 правил – это $265\,252\,859\,812\,191\,058\,636\,308\,480\,000\,000$, т.е. примерно 10^{32} -й степени, и время решения будет 10^{20} -й степени секунд (84 миллиарда лет).

Можно продолжить этот анализ и, например, для 300 правил это будет примерно 10^{614} -й степени вариантов:

```
3060575122164406360353704612972686293885
8880417357699941677674125947653317671686746
551529142247757334993914788870172636886426
3907759003154226842927906974559841225476930
2719546040080122157762521768542559653569035
0678872526432189626429936520457644883038890
9753943489625436053225980776521270822437639
4491201286786753683057122936819436499564604
9816645022771650018517654646934011222603472
972406633325858350687015016979416885035375
2137554910289126407157154830282284937952636
5801452352331569364822334367992545940952768
2060806223281238738388081704960000000000000
0000000000000000000000000000000000000000000
0000000000000000000000000000000000000000000
```

и время решения составит больше, чем 10^{600} -й степени секунд.

Разработанная компанией «МИВАР» программа КЭСМИ «Wi!Mi Разуматор» задачи в «300 правил» решает за доли секунды. По критерию времени решения задачи мивары позволили от факториального роста времени (тысячи лет и более) перейти к «линейному росту» и реальному времени решения задачи со скоростью более 5 млн правил в секунду. Это прорывная технология.

Получаем «показатель сравнения» в виде «время принятия решений в различных ситуациях». Сложность ситуации определяется количеством правил, а время принятия решений измеряется в секундах. Например, для современных робототехнических комплексов (РТК) реальное время работы не должно превышать секунду. Традиционные подходы уже с 15 правилами перестают работать в реальном мире, а миварный подход преодолевает это ограничение.

Задача «Равенство классов P и NP » является одной из важнейших задач в теории алгоритмов. Данная проблема имеет большое значение для самых различных областей знаний, но решить ее не могут уже более 40 лет. Она относится к так называемым «Задам тысячелетия» (Millennium Prize Problems). Считается, что если она будет решена, то это будет означать, что теоретически возможно решать многие сложные задачи существенно быстрее, чем сейчас. Существует целый перечень задач, относящихся

Таблица. Время решения задач при переборной ($N!$) вычислительной сложности логического вывода на N правилах

N	Количество комбинаций ($N!$)	Время решения (в секундах)	Время решения (в годах)
1	1	< 1	< 1
2	2	< 1	< 1
3	6	< 1	< 1
4	24	< 1	< 1
5	120	< 1	< 1
6	720	< 1	< 1
7	5040	< 1	< 1
8	40320	< 1	< 1
9	362880	< 1	< 1
10	3628800	< 1	< 1
11	39916800	< 1	< 1
12	479001600	< 1	< 1
13	6227020800	< 1	< 1
14	87178291200	1	< 1
15	1307674368000	13	< 1
16	20922789888000	209	< 1
17	355687428096000	3557	< 1
18	6402373705728000	64024	< 1
19	121645100408832000	1216451	< 1
20	2432902008176640000	24329020	1
21	51090942171709400000	510909422	16
22	1124000727777610000000	11240007278	356
23	25852016738885000000000	258520167389	8192
24	6204484017332390000000000	6204484017332	196608
25	155112100433310000000000000	155112100433310	4915206
26	40329146112660600000000000000	4032914611266060	127795352
27	1088886945041840000000000000000	108888694504184000	3450474513
28	30488834461171400000000000000000	3048883446117140000	96613286375
29	884176199373970000000000000000000	88417619937397000000	2801785304884
30	2652528598121910000000000000000000	26525285981219100000000	84053559146510
31	82228386541779200000000000000000000	822283865417792000000000	2605660333541820
32	2631308369336940000000000000000000000	263130836933694000000000000	83381130673338100
33	86833176188118900000000000000000000000	868331761881189000000000000000	2751577312220160000
34	29523279903960400000000000000000000000000	29523279903960400000000000000000000000000	93553628615485400000
35	103331479663861000000000000000000000000000000	103331479663861000000000000000000000000000000	32743770015419900000000

Примечание. Исходные данные: скорость процессора (операции в секунду) = 10×10^{11} ; среднее количество секунд в году = 31 557 600.

к классу NP -полных. Одной из них был логический вывод, который после создания миварных двудольных сетей необходимо исключить из класса NP -полных задач. Возможно, что применение нового миварного подхода позволит ускорить и некоторые другие задачи из этого класса, но эти вопросы выходят за рамки данной статьи. Доказательство кардинального ускорения поиска решений и перехода от NP -сложности логического вывода (на продукциях «Если – То») к линейной вычислительной сложности миварного метода логической обработки данных и правил было выполнено и опубликовано еще в 2002 году [1–2]. С 2002 года научное направление продолжает развиваться: ведутся исследования, публикуются статьи и доклады, защищаются диссертации [1–22]. Данные научные достижения лежат в основе всех разработок компании «МИВАР».

Практическое сравнение трех способов решения задач автоматического построения алгоритмов и логического вывода (ситуационного управления)

Для доказательства эффективности миварного подхода в решении практических задач предлагается рассмотреть решенную задачу автоматизации служб поддержки клиентов – пример описан на сайте компании «МИВАР» www.mivar.ru. Данная работа выполнена в компании «МИВАР», а материал подготовили Анастасия Латышева и Павел Чернышев.

Приведем краткое описание задачи. В различных сферах экономики, связанных с обслуживанием клиентов, широко распространены службы поддержки. Они представляют собой группы людей-операторов, которые помогают клиентам осваивать продукты компании. В большинстве своем вопросы пользователей являются типовыми, повторяются, и ответы операторов на них превращаются в механические действия. Часто нагрузка на операторов службы бывает весьма высокой, и такие повторяющиеся вопросы отнимают существенное время работников. Для разгрузки операторов предлагается автоматизировать механизм ответа на типовые запросы пользователей.

Предлагается рассмотреть три варианта решения задачи автоматизации:

1. Полный перебор вариантов ответа (поиск по «дереву решений»).
2. Поиск по набору заранее просчитанных «вероятных сценариев» запроса-ответа (поиск по базе данных).
3. Построение модели автоматических ответов с помощью программного модуля КЭСМИ «Wi!Mi Разуматор» на основе «миварных сетей».

Рассмотрим каждый из вариантов.

Полный перебор вариантов ответа

Для автоматизации ответа необходимо выделить блок типовых запросов и по этому блоку построить дерево получения ответа на правилах «Если – То». Допустим, количество типовых запросов равно n . Тогда $n!$ – время, затраченное на поиск ответа по дереву. При возрастании числа типовых запросов время на поиск правильного ответа возрастает быстрее, чем по экспоненте, и стремится к бесконечности (измеряется часами).

Поиск по набору заранее просчитанных «вероятных сценариев» запроса-ответа

В этом случае набор «вероятных сценариев» можно представить как книгу-инструкцию, а вероятные сценарии – как главы этой книги. Тогда в случае нестандартного сценария, по сути являющегося склейкой, мы сможем выдать пользователю только целиком все сценарии, из которых состоит нестандартный. Время, затраченное на поиск ответа, будет измеряться часами и может стремиться к бесконечности.

Построение модели автоматических ответов с помощью программного модуля КЭСМИ «Wi!Mi Разуматор»

Для решения необходимо выделить параметры (входящие и выходящие, сообщаемые пользователем) и правила, которые соединяют входящие параметры с выходящими. В данной задаче также используются правила «Если – То». Построение алгоритма по этим правилам идет от искомого параметра: программа понимает, какие параметры ей нужно найти, и, исходя из правил, связанных с этими параметрами, строит алгоритм получения ответа.

Время, затраченное на поиск нужного ответа, линейно количеству параметров. КЭСМИ обрабатывает более 5 млн правил за 0,05 с, т.е. в таком случае все решения происходят в реальном времени (за доли секунды).

Выводы

Таким образом, миварный подход к накоплению данных и обработке информации объединяет основные направления искусственного интеллекта на логическом уровне исследований:

1. Экспертные системы.
2. Понимание языка.
3. Распознавание образов.
4. АСУ.
5. Интеллектуальные автономные роботы.

На основе миварного подхода созданы программные продукты для:

- экспертных систем – «Wi!Mi Разуматор»;
- понимания смысла текстов – Tel!Mi;
- систем принятия решений для автономных роботов – Robo!Razum.

Технология Wi!Mi используется в Tel!Mi для понимания смысла. Продукт Tel!Mi позволяет по текстам инструкций автоматически обучать «Wi!Mi Разуматор» и Robo!Razum. В совокупности эти продукты можно использовать для Интернета вещей и других киберфизических систем, так как миварные продукты Wi!Mi, Tel!Mi и Robo!Razum могут работать

на одном обычном вычислительном модуле «процессор–память».

Главным качественным отличием миварных интеллектуальных систем является то, что все они основаны на многомерных эволюционных базах данных и правил «Вещь–Свойство–Отношение» с логическим выводом линейной вычислительной сложности на двудольных ориентированных миварных сетях «Объект–Правило». Следовательно, именно миварный подход является основой качественного перехода на новый уровень в области искусственного интеллекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: Радио и связь, 2002. 288 с.
2. Варламов О.О. О необходимости перехода от теории искусственного интеллекта к разработке теории активного отражения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2007. Т. 77. № 2. С. 89–95.
3. Варламов О.О. Создание теории активного отражения как обобщения теории ИИ и возможность ее реализации в миварном инфопространстве // Искусственный интеллект. 2007. № 3. С. 17–24.
4. Varlamov O.O., Adamova L.E., Eliseev D.V., Mayboroda Yu. I., Antonov P.D., Sergushin G.S., Chibirova M.O. Mivar technologies in mathematical modeling of natural language, images and human speech understanding. *International Journal of Advanced Studies*, 2013, vol. 3, no. 3, pp. 17–23.
5. Комплексное моделирование процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов на основе миварных технологий / О.О. Варламов, Л.Е. Адамова, Д.В. Елисеев, Ю.И. Майборода, П.Д. Антонов, Г.С. Сергушин, М.О. Чибирова // Искусственный интеллект. 2013. № 4 (62). С. 15–27.
6. Варламов О.О. Системы обработки информации и взаимодействие групп мобильных роботов на основе миварного информационного пространства // Искусственный интеллект. 2004. № 4. С. 695–700.
7. Shadrin S.S., Varlamov O.O., Ivanov A.M. Experimental Autonomous Road Vehicle with Logical Artificial Intelligence. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, vol. article ID2492765, p. 10, DOI 10.1155/2017/2492765. Available at: <https://doi.org/10.1155/2017/2492765>.
8. Чибирова М.О. Сравнительный анализ миварного подхода и подходов, основывающихся на онтологиях и когнитивных картах // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 55–66, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-55-66.
9. Чибирова М.О. Структурное развитие миварного подхода: классы и отношения // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 44–54, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-44-54.
10. Чибирова М.О. Необходимость добавления ограничений и прецедентов для развития миварного информационного пространства // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 67–78, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-67-78.
11. Хадиев А.М. Разработка и практическая реализация миварной машины логического вывода // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 79–89, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-79-89.
12. Сергушин Г.С. Компьютерно-реализованная система для автоматизированного построения маршрута логического вывода в миварной базе знаний // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 90–99, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-90-99.
13. Сергушин Г.С. Разработка миварных АСУ ТП для различных применений в автомобильно-дорожной сфере // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 100–111, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-100-111.
14. Постановка диагноза по симптомам на основе миварного подхода / Е.А. Жданович, П.А. Антонов, А.М. Хадиев, Г.С. Сергушин, М.О. Чибирова // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 122–130, DOI:10.21778/2413-9599-2015-3-122-130.
15. Практический пример использования миварного подхода для создания экспертной системы в предметной области «Геометрия» / П.Д. Антонов, М.О. Чибирова, Е.А. Жданович, Г.С. Сергушин, Д.В. Елисеев // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 131–143, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-131-143.
16. Об одном подходе к созданию интеллектуальной вопросно-ответной системы «Миварный виртуальный консультант» / Л.Е. Адамова, А.И. Белоусова, Д.А. Протопопова, Д.В. Елисеев, А.О. Петерсон // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 160–171, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-160-171.
17. Вычисление произвольных алгоритмов функционирования сервисных роботов на основе миварного подхода / Е.А. Жданович, П.К. Чернышев, К.А. Юфимычев, Д.В. Елисеев, Д.А. Чувилов // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 226–242, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-226-242.
18. Применение миварной экспертной системы для планирования движения мобильного сервисного робота / Е.А. Жданович, А.А. Панферов, К.А. Юфимычев, А.М. Хадиев, Д.В. Елисеев // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 243–254, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-243-254.
19. Черненький В.М., Терехов В.И., Гапанюк Ю.Е. Структура гибридной интеллектуальной информационной системы на основе метаграфов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 9. С. 3–13.
20. Толочко С.И., Черненький В.М. Анализ информационных систем и определение понятия «информационная система поддержки оперативных решений» // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. № 5. С. 69–80.

21. Гапанюк Ю. Е., Ревунков Г. И., Федоренко Ю. С. Предикатное описание метаграфовой модели данных // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 12. С. 122–131.
22. Терехов В. И. Применение гибридных систем вычислительного интеллекта для выбора рационального варианта управленческого решения // Военная мысль. 2009. № 11. С. 29–34.
23. Черненький В. М., Гапанюк Ю. Е., Мавзютов А. А. Разработка комплексных биомедицинских информационных систем на основе адаптивных объектов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 3 (3). С. 10.
24. Кулешов Д. С., Черненький В. М. Метод оперативного управления образовательными и реабилитационными ресурсами в условиях инклюзивного высшего профессионального образования // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. № 3 (96). С. 105–115.
25. Самохвалов Э. Н., Гапанюк Ю. Е. Объединение автоматизированных учебных пособий на основе семантической сети понятий // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 11. С. 32.
26. Самохвалов Э. Н., Ревунков Г. И., Гапанюк Ю. Е. Генерация исходного кода программного обеспечения на основе многоуровневого набора правил // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. № 5 (98). С. 77–87.
27. Терехов В. И. О реализации нейросетевого алгоритма распознавания лиц на графических процессорах // Наука и образование. Научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2013. № 12. С. 367.
28. Терехов В. И., Жуков Р. В. Современное состояние и перспективы применения импульсных нейронных сетей // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 12. С. 143–145.
29. Терехов В. И. Применение когнитивной компьютерной графики для визуализации актуальной информации лицам, принимающим решение // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 3 (3). С. 25.
30. Терехов В. И., Черненький И. М. Разработка варианта принятия решения с помощью метода анаморфирования // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 12. С. 132–139.
31. Тоноян С. А., Сараев Д. В. Темпоральные модели базы данных и их свойства // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. № 12 (36). С. 15.
32. Тоноян С. А., Балдин А. В., Елисеев Д. В. Методика модернизации стандартных модулей типовой конфигурации на базе технологической платформы «1С Предприятие 8» с минимальными доработками // Машиностроение и компьютерные технологии. 2012. № 8. С. 17.
33. Балдин А. В., Тоноян С. А., Елисеев Д. В. Анализ избыточности хранения темпоральных данных средствами реляционных СУБД // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. № 4 (28). С. 1.
34. Балдин А. В., Тоноян С. А., Елисеев Д. В. Язык запросов к миварному представлению реляционных баз данных, содержащих архив информации из предыдущих кадровых систем // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 11 (23). С. 20.
35. Балдин А. В., Тоноян С. А., Елисеев Д. В. Многомерное описание сложных темпоральных данных // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2016. Т. 14. № 12. С. 105–110.

REFERENCES

1. Varlamov O. O. *Jevoljucionnye bazy dannyh i znanij dlja adaptivnogo sinteza intellektualnyh sistem* [Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. The Mivar Information Space]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 2002, 288 p. (In Russian).
2. Varlamov O. O. On the need of transition from the artificial intelligence theory to the development of the active reflection theory. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki*, 2007, vol. 77, no. 2, pp. 89–95 (In Russian).
3. Varlamov O. O. Creation of the active reflection theory as a generalization of the AI theory and the possibility of its implementation in the mivar information space. *Iskusstvenny intellekt*, 2007, no. 3, pp. 17–24 (In Russian).
4. Varlamov O. O., Adamova L. E., Eliseev D. V., Mayboroda Yu. I., Antonov P. D., Sergushin G. S., Chibirova M. O. Mivar technologies in mathematical modeling of natural language, images and human speech understanding. *International Journal of Advanced Studies*, 2013, vol. 3, no. 3, pp. 17–23.
5. Varlamov O. O., Adamova L. E., Eliseev D. V., Mayboroda Yu. I., Antonov P. D., Sergushin G. S., Chibirova M. O. Complex simulation of understanding processes by computers of texts, speech and images on the basis of the mivar technologies. *Iskusstvenny intellekt*, 2013, no. 4 (62), pp. 15–27 (In Russian).
6. Varlamov O. O. Information-processing systems and interaction of mobile robots groups on the basis of a mivar information space. *Iskusstvenny intellekt*, 2004, no. 4, pp. 695–700 (In Russian).
7. Shadrin S. S., Varlamov O. O., Ivanov A. M. Experimental Autonomous Road Vehicle with Logical Artificial Intelligence. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, vol. article ID2492765, p. 10, DOI 10.1155/2017/2492765.
8. Chibirova M. O. Comparative analysis of the mivar approach to approaches based on ontologies and cognitive maps. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 55–66, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-55-66 (In Russian).
9. Chibirova M. O. Structural development of the mivar approach: classes and relations. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 44–54, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-44-54 (In Russian).
10. Chibirova M. O. The need to add constraints and precedents for the development of the mivar information space. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 67–78, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-67-78 (In Russian).
11. Hadiev A. M. Development and practical implementation of the mivar inference engine. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 79–89, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-79-89 (In Russian).
12. Sergushin G. S. Computer-implemented system for automated construction of the logical inference path in the mivar knowledge base. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 90–99, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-90-99 (In Russian).
13. Sergushin G. S. Development of mivar Computer-Aided Process Control Systems for various automotive applications. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 100–111, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-100-111 (In Russian).

14. Zhdanovich E. A., Antonov P. A., Hadiev A. M., Sergushin G. S., Chibirova M. O. The diagnosis according to the symptoms on the basis of the mivar approach. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 122–130, DOI:10.21778/2413-9599-2015-3-122-130 (In Russian).
15. Antonov P. D., Chibirova M. O., Zhdanovich E. A., Sergushin G. S., Eliseev D. V. Application example of the mivar approach to create an expert system in the field of «Geometry». *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 131–143, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-131-143 (In Russian).
16. Adamova L. E., Belousova A. I., Protopopova D. A., Eliseev D. V., Peterson A. O. On one approach to the creation of an intelligent question-and-answer system, the «mivar virtual consultant». *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 160–171, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-160-171 (In Russian).
17. Zhdanovich E. A., Chernyshev P. K., Yufimychev K. A., Eliseev D. V., Chuvikov D. A. Calculation of self-selected algorithms for the operation of service robots on the basis of the mivar approach. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 226–242, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-226-242 (In Russian).
18. Zhdanovich E. A., Panferov A. A., Yufimychev K. A., Hadiev A. M., Eliseev D. V. The application of a mivar expert system for motion planning of a mobile service robot. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 243–254, DOI 10.21778/2413-9599-2015-3-243-254 (In Russian).
19. Chernenkiy V. M., Terekhov V. I., Gapanyuk Yu. E. The structure of a hybrid intelligent information system based on metagraphics. *Neyrokompyutery: razrabotka, primeneniye*, 2016, no. 9, pp. 3–13 (In Russian).
20. Tolochko S. I., Chernenkiy V. M. Information system analysis and concept definition of an information system to support operational decisions. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana*, 2011, no. 5, pp. 69–80 (In Russian).
21. Gapanyuk Yu. E., Revunkov G. I., Fedorenko Yu. S. Predicative description of the metagraphic datamodel. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy*, 2016, vol. 14, no. 12, pp. 122–131 (In Russian).
22. Terekhov V. I. Application of hybrid computational intelligence systems for choosing an intelligent option of management decision. *Voennaya mysl*, 2009, no. 11, pp. 29–34 (In Russian).
23. Chernenkiy V. M., Gapanyuk Yu. E., Mavzyutov A. A. Development of complex biomedical information systems based on adaptive objects. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii*, 2012, no. 3 (3), pp. 10 (In Russian).
24. Kuleshov D. S., Chernenkiy V. M. The method of operational management of educational and rehabilitation resources under inclusive higher professional education. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana*, 2014, no. 3 (96), pp. 105–115 (In Russian).
25. Samokhvalov Ye. N., Gapanyuk Yu. E. Combination of automated teaching aids on the basis of a semantic network of concepts. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii*, 2013, no. 11, pp. 32 (In Russian).
26. Samokhvalov Ye. N., Revunkov G. I., Gapanyuk Yu. E. Software source generation based on a multilevel collection of rules. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana*, 2014, no. 5 (98), pp. 77–87 (In Russian).
27. Terekhov V. I. On the implementation of the neural network facial recognition algorithm on graphics processors. *Nauka i obrazovanie: nauchnoye izdanie MGTU im. N. E. Baumana*, 2013, no. 12, p. 367 (In Russian).
28. Terekhov V. I., Zhukov R. V. Current status and perspectives of using spiking neural networks. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy*, 2016, vol. 14, no. 12, pp. 143–145 (In Russian).
29. Terekhov V. I. The use of cognitive computer graphics to view current information to decision-makers. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii*, 2012, № 3 (3), pp. 25 (In Russian).
30. Terekhov V. I., Chernenkiy I. M. Development of a decision making option using the squeezing method. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy*, 2016, vol. 14, no. 12, pp. 132–139 (In Russian).
31. Tonojan S. A., Saraev D. V. Temporal database models and their properties. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii*, 2014, no. 12 (36), pp. 15 (In Russian).
32. Tonoyan S. A., Baldin A. V., Eliseev D. V. Upgrading technique for the standard modules of a default configuration based on the software solution «1C Enterprise 8» with minimal modifications. *Mashinostroenie i kompyuternye tekhnologii*, 2012, no. 8, pp. 17 (In Russian).
33. Baldin A. V., Tonoyan S. A., Eliseev D. V. Analysis of the temporal data storage redundancy by means of relational database management systems. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii*, 2014, no. 4 (28), pp. 1 (In Russian).
34. Baldin A. V., Tonoyan S. A., Eliseev D. V. Data query language to the mivar representation of relational databases containing the information archive from previous personnel systems. *Inzhenerny zhurnal: nauka i innovatsii*, 2013, no. 11 (23), pp. 20 (In Russian).
35. Baldin A. V., Tonoyan S. A., Eliseev D. V. Multi-dimensional description of complex temporal data. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy*, 2016, vol. 14, no. 12, pp. 105–110 (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Варламов Олег Олегович, д.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет; директор, НИИ «МИВАР», 127521, Москва, ул. Октябрьская, д.72, тел.: 8 (926) 276-76-45, e-mail: ovar@narod.ru.

AUTHOR

Varlamov Oleg, Dr., professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow automobile and road construction state technical university; CEO, MIVAR, 72, Oktyabrskaya ulitsa, Moscow, 127521, Russian Federation, tel.: +7 (926) 276-76-45, e-mail: ovar@narod.ru.