

О.О. Варламов¹, В.М. Лазарев², Д.А. Чувииков³, Джха Пунам³

¹ Научно-исследовательский институт «МИВАР», Москва, Россия, ² Акционерное общество «Системы управления», Москва, Россия, ³ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

О ПЕРСПЕКТИВАХ СОЗДАНИЯ АВТОНОМНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РОБОТОВ НА ОСНОВЕ МИВАРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Статья посвящена перспективам создания автономных интеллектуальных роботов на основе миварных технологий накопления и логической обработки информации. Предложено использовать миварные технологии в целях разработки автономных интеллектуальных роботов нового поколения по таким направлениям, как понимание текстов и естественного языка, распознавание образов, создание экспертных систем и планирование поведения. В статье также рассматривается роль искусственного интеллекта и интеллектуальных технологий в робототехнике. Рассмотрены основные подходы к созданию искусственного интеллекта (ИИ). Важно подчеркнуть, что миварные технологии использованы в робототехнике и применены в проекте «УНИКУМ» и проекте «Муром-ИСП». В том числе в статье уделяется внимание программному продукту КЭСМИ (Wi! Mi) «Разуматор», который тоже основан на концепциях миварных технологий и позволяет за сотые доли секунды обрабатывать более 5 миллионов производственных правил, что соответствует требованиям реального времени для систем управления автономных интеллектуальных роботов.

Ключевые слова: мивар, миварные сети, робот, интеллектуальные системы, искусственный интеллект, экспертные системы, понимание смысла, распознавание образов, автономные интеллектуальные роботы, КЭСМИ (Wi! Mi).

Для цитирования: О перспективах создания автономных интеллектуальных роботов на основе миварных технологий / Варламов О.О., Лазарев В.М., Чувииков Д.А., Джха Пунам // Радиопромышленность. – 2016. – № 4. – С. 96–105.

O.O. Varlamov¹, V.M. Lazarev², D.A. Chuvikov³, Jha Punam³

¹ Scientific-Research Institute «MIVAR», Moscow, Russia, ² Joint-stock company «Control systems», Moscow, Russia, ³ Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), Moscow, Russia

ON PROSPECTS FOR DESIGN OF STANDALONE SMART ROBOTS BASED ON MIVAR TECHNOLOGIES

The article is dedicated to the prospects for design of standalone smart robots based on MIVAR accumulation and logical data processing technologies. It is proposed to use MIVAR technologies for development of new generation standalone robots in such areas as text comprehension and natural language understanding, image recognition, expertise systems and behavior planning. The article also deals with the role of artificial intelligence and intelligent technologies in robotics. The key approaches to design of artificial intelligence (AI) have been reviewed. It is important to emphasize that MIVAR-based technologies are used in robotics and have been implemented in UNIKUM project and in Murom-ISP project. The article also reviews Razumator KESMI software product (Wi! Mi), which is as well based on MIVAR technologies and makes it possible to process more than 5 million of production rules per centisecond, which satisfies the real-time requirements for control systems of standalone smart robots.

Keywords: MIVAR, MIVAR networks, robot, intelligence systems, artificial intelligence, expertise systems, understanding of meaning, image recognition, standalone smart robots, KESMI (Wi! Mi).

For citation: Varlamov O.O., Lazarev V.M., Chuvikov D.A., Punam Jha. On prospects for design of standalone smart robots based on mivar technologies. Radiopromyshlennost, 2016, no. 4, pp. 96–105. (In Russian).

Введение

В настоящее время робототехника является одним из самых перспективных направлений научных исследований, которое объединяет достижения в разных областях искусственного интеллекта. Достигнуты определенные успехи, которые рекламируются и демонстрируются достаточно широко, включая даже роботов военного назначения. В монографии [1] рассматриваются современные методы интеллектуального планирования траекторий подвижных объектов на плоских средах со стационарными препятствиями, приведен обзор методов планирования траекторий, включающий графоаналитические, нейросетевые, нечеткие и бионические методы, а также генетические процедуры поиска.

Авторами отмечено, что «...при автономном функционировании требуется разработка систем управления подвижными объектами (ПО) современными методами, обеспечивающими не только управление исполнительными механизмами и движением, но и автономное принятие решений, а также планирование действий. Таким образом, базовой проблемой становится повышение автономности ПО, которая, очевидно, решается с использованием интеллектуальных технологий» [1, с. 6].

Следовательно, проблема создания систем управления и обработки информации для автономных интеллектуальных роботов (робототехнических комплексов нового поколения) является актуальной.

Роль искусственного интеллекта и интеллектуальных технологий в робототехнике

Специалисты по системам управления роботов пишут, что «под интеллектуальными технологиями понимаются технологии, позволяющие реализовать такие присущие человеческому поведению функции, как адаптация к неопределенной среде, возможность оценивать и моделировать текущее состояние, выполнять функции целеполагания и планирования действий» [1, с. 6]. Однако там же указано: «проектирование всех уровней управления в едином интеллектуальном базисе будут рассмотрены в последующих работах. В данной монографии рассматривается уровень планирования, формирующий траектории движения ПО на плоскости при наличии стационарных препятствий» [1, с. 7]. Таким образом, в настоящее время основные работы проводятся только на рефлексном уровне и для дистанционно управляемых роботов. Например, про беспилотные летательные аппараты (БПЛА) указывается следующее: «...на сегодняшний день БПЛА создаются в классе дистанционно управляемых, а создание автономных БПЛА остается актуальной задачей» [1, с. 10].

Для завершения анализа современного состояния приведем важную цитату: «...следует учесть,

что различные поведенческие акты реализуются не столько на сознательном уровне, сколько на подсознательном и свойственны не только мозгу человека, но и мозгу более простых организмов, например, млекопитающих и даже насекомых. Отсюда следует, что создание интеллектуальных систем планирования перемещений можно начать с синтеза устройств, моделирующих не все функции естественного высокоразвитого интеллекта, а только те из них, которые связаны с выполнением целенаправленных действий и с обеспечением интеллектуального поведения в естественной среде. Иными словами, целесообразно начать с моделирования рефлексного поведения не на сложном психологическом уровне, а на более простом нейрофизиологическом уровне» [1, с. 31–32]. Следовательно, сегодня в области создания систем управления роботами исследования выполняются на рефлексном уровне, присущем даже насекомым. Все остальные уровни только планируется исследовать в последующих работах, поэтому сейчас результаты отсутствуют.

Приходим к важному выводу, что главным ограничением для систем управления в робототехнике является создание искусственного интеллекта (ИИ), который и будет являться «мозгом» для роботов. Многие серьезные ученые до сих пор убеждены, что в ближайшие 20–40 лет создать искусственный интеллект не получится. Другие убеждены, что ИИ создан. Отметим, что изначально под понятием «искусственный интеллект» в англоязычной трактовке понимали достаточно узкую задачу: компьютер должен был выполнять логические рассуждения на основе причинно-следственных зависимостей. Именно такое свойство отличает людей от животных и создает основу человеческого мышления.

Проанализируем причины сложностей создания ИИ. Для этого необходимо обратиться к изданиям по дискретной математике и анализу алгоритмов: «...анализ алгоритмов – одна из важнейших задач дискретной математики. С анализом алгоритма связано время работы алгоритма. Оно также связано с ограничениями на характеристики работы ЭВМ и со сложностью решаемой задачи» [2, с. 207]. Для дальнейших рассуждений необходимо привести подробную цитату, так как для области ИИ важным является «...разделение всех задач на два типа (класса):

1-й класс. Задачи, для которых алгоритмы никогда не могут быть написаны, т.е. задачи в принципе не решаемые. Например, задача о квадратуре круга или построение универсального решателя (алгоритма) для решения всех задач.

2-й класс. Это «класс решаемых задач <...> [2, с. 209–210]. К ним относятся задачи, решаемые

на основе: полиномиальных алгоритмов; экспоненциальных алгоритмов...

Экспоненциальными алгоритмами называют алгоритмы, у которых время решения экспоненциально растет по мере увеличения размера входных данных. К ним относятся алгоритмы типа $2n$, $n!$ и т.п. Здесь n – количество входов алгоритма. К экспоненциальным алгоритмам принадлежат алгоритмы полного перебора при нахождении оптимального решения.

Линейный алгоритм – это алгоритм, у которого зависимость времени решения от числа входных данных носит линейный характер» [2, с. 209–210].

Существует очень важное дополнение к предложенной классификации: «Отдельный класс составляют задачи, называемые «NP-полными». Для них не найдены полиномиальные алгоритмы, однако и не доказано, что таких алгоритмов не существует. Изучение NP-полных задач связано с нерешенной проблемой $P = NP$... На практике считается, что если для некоторой задачи удастся доказать ее NP-полноту, то она является практически неразрешимой. Большинство специалистов полагает, что NP-полные задачи нельзя решить за полиномиальное время» [2, с. 213].

Общеизвестным фактом является то, что логический вывод до 2002 года считался как раз NP-полной задачей, т.е. задачей «практически неразрешимой» [3–17]. Даже суперкомпьютеры были не способны выполнять логический вывод полным перебором более 20 правил. Кроме того, логический вывод относится к классу последовательных задач, для которых применение многопроцессорных систем бесполезно, т.к. невозможно выполнять никакие операции параллельно.

Подчеркнем, что в прошлом веке существовал научный подход, называемый «интеллектуальные пакеты прикладных программ» (ИППП), суть которого описывалась так: есть некоторая хорошо описанная предметная область, заданная набором модулей описания элементарных зависимостей, фактически образующих правила в формате «если – то». Необходимо в зависимости от набора входных данных («ДАНО») и требуемых данных («НАЙТИ») построить алгоритм решения задачи. Наиболее наглядным примером является школьная область «Геометрия. Треугольники» с подробным описанием всех зависимостей в виде формул. Задачи представляют собой следующий вид: «по двум сторонам и углу между ними найти периметр треугольника» или «найти площадь треугольника» и т.д. [3].

Отметим, что по существу проблема ИППП и решение задачи «автоматического построения алгоритма» была эквивалентна логическому выводу на продукциях «если – то».

Невзирая на кажущуюся простоту, подчеркнем, что данная область является «Модельной областью» для решения многих сверхважных специальных задач. Отметим, что такие задачи на рефлексорном уровне не решить. Значит, такие задачи кардинально более сложные, чем поиск траектории и т.п. До 2002 года такие задачи на компьютерах решить было невозможно, т.к. даже в простейшем случае «Треугольники» описывались 237 правилами (при 72 объектах), т.е. ни один суперкомпьютер подобные задачи со сложностью логического вывода $237!$ (факториал) решить был не в состоянии. Кроме логического вывода ученые предлагали заранее просчитать для ИППП все варианты наборов входных и выходных данных («ДАНО» + «НАЙТИ») и составить для них алгоритмы в одной базе данных. Это тоже NP-полная задача, но зависит она уже не от количества правил, а от количества объектов. В случае с «треугольниками» это 72 объекта и сложность порядка $70!$ (факториал). Понятно, что даже для такого простого дела невозможно заранее создать все $70!$ алгоритмов и занести их в базу данных. Недавно нашли некий компромисс: находили до пяти тысяч наиболее часто встречающихся комбинаций «ДАНО» + «НАЙТИ» и составляли эти 5000 алгоритмов. Для создания полноценного искусственного интеллекта на логическом уровне такой подход явно не подходит.

Итак, приходим к выводу, что современные роботы пока достигли уровня развития животных и им очень далеко до разумного человека, т.е. таким роботам не хватает «мозгов». Под «мозгами» принято понимать логические рассуждения на основе причинно-следственных зависимостей. Считается, что именно способность к выявлению сложных причинно-следственных зависимостей и логические рассуждения отличают людей от животных. Конечно, в робототехнике уже многое сделано, но все же пока реализованы функции, которые могут выполнять животные: обход препятствий, распознавание образов, движение по траектории и т.п.

С учетом создавшейся ситуации возникает необходимость провести исследование и показать, что все необходимые условия для создания автономного интеллектуального робота с «мозгами» в настоящее время в России существуют. Сразу отметим, что именно миварные технологии, разрабатываемые в России с 1985 года, уже позволили создать логический искусственный интеллект («мозги») [3].

Миварные технологии для систем управления роботами

Миварный подход предлагали использовать для робототехники еще в 2011 году [10]. Особый интерес для систем управления роботами представляет серверный вариант миварного универсального

решателя задач [11], который позволяет применять технологии виртуальной реальности для дистанционного обучения [12] различным предметам, включая управление инновационными ресурсами [13]. Для решения проблем взаимодействия роботов с людьми много возможностей предоставляют технологии виртуальной реальности для трехмерной визуализации результатов моделирования [8, 9, 14] в миварном пространстве, которое позволяет обобщить человеческие знания в форме активной интернет-энциклопедии [15].

Кроме того, приведем в пример близкую к робототехнике научную область автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП), где уже показаны практические возможности создания миварных АСУ ТП для нефтяной промышленности России [16] с возможностью параллельной обработки потоков информации на основе виртуальных потоковых баз данных.

С 2012 года миварные технологии применяются для решения задачи понимания смысла текстов (на русском языке) [4–7], что также является важной задачей в робототехнике. Естественный язык рассматривается не только как средство коммуникации, но и как средство мышления, при котором языковые конструкции опираются на создание знаковых моделей. В процессе научных исследований выяснилось, что для моделирования «смысла текстов» адекватным является формализм «миварное информационное пространство», который базируется на гносеологической модели «Вещь, Свойство, Отношение» (VSO, или BCO) [3].

Миварный подход базируется на трех основных технологиях [3]:

1. Многомерные эволюционные миварные базы данных и правил.
2. Двудольные миварные сети с линейной сложностью логического вывода.
3. Глобальные информационные модели для многомерной обработки контекстов (системный анализ).

Например, для решения задач понимания естественного языка мивары позволили менее чем за месяц создать миварную модель VSO (Вещь–Свойство–Отношение (BCO)) 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 [7].

Отметим, что основное время было затрачено на анализ и предварительную обработку специфического оформления Толкового словаря. Автоматическая обработка самого текста, содержащего порядка ста 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.

Стоит отметить, что в настоящее время ведется успешная реализация и обучение миварных систем логического искусственного интеллекта в следующих важных для робототехники областях: понимание текстов на естественном русском языке, понимание (распознавание) изображений, создание мультипредметных экспертных систем (Активная открытая миварная энциклопедия), СППР и АСУ ТП нового поколения [3–21].

Следующими разрабатываемыми областями применения миваров являются: распознавание речи, перевод текстов, понимание видео, создание автономных интеллектуальных мультиагентных робототехнических систем и др.

Создание роботов требует решения большого числа проблем, которые целесообразно разделить по уровням:

- Рефлексный уровень («рефлекторный» по книге [1]) – способность робота выполнять основные функции, аналогичные функциям животных (стоять, бежать (перемещаться), видеть препятствия и т.п.).
- Логический уровень («уровень Я») – способность робота на логическом уровне понимать причинно-следственные связи (если – то) и решать интеллектуальные задачи, аналогично функциям одиночного человека (важно подчеркнуть, что животным это уже недоступно).
- Социальный уровень («уровень Мы») – способность робота взаимодействовать с группой других роботов и принимать совместные решения с учетом воздействий окружающей среды и других, возможно, враждебных групп роботов, механизмов и людей.

Отметим, что указанные уровни в некотором смысле соответствуют уровням исследований в области искусственного интеллекта [3]. Будем считать, что создание интеллектуального автономного робота является обобщающей работой всех четырех основных направлений области искусственного интеллекта [3], таких как:

- понимание текстов и естественного языка;
- распознавание образов;
- экспертные системы;
- планирование поведения.

При этом для роботов, помимо указанных проблем, необходимо решить и множество других

проблем. Но с точки зрения систем управления роботами указанные проблемы ИИ являются основными.

На рефлексном уровне проводится огромное количество исследований и достигнуты очень хорошие результаты: антропоморфные роботы уверенно стоят на ногах, перемещаются и т.д. Однако для достижения поставленной цели создания автономного интеллектуального робота необходимо переходить на следующие уровни: логический и социальный.

На логическом уровне достижений гораздо меньше, что обусловлено принципиальными сложностями в области искусственного интеллекта. Основным ограничением при традиционных «академических» подходах является высокая вычислительная сложность решения логических и логико-подобных задач.

В большинстве случаев эта сложность становится факториальной, и задачи относят к классу NP-полных задач, решить которые не представляется возможным. Классическим примером является задача логического вывода или задача автоматического построения алгоритма решения из различных модулей-сервисов.

Основные подходы к созданию искусственного интеллекта (ИИ)

Известно, что для изучения некоей системы надо исследовать ее целиком во всем многообразии и сложности. Однако с мышлением в области искусственного интеллекта наблюдается парадоксальная картина: задача моделирования мышления признается слишком сложной и разбивается на отдельные функции (зрение, понимание текста, распознавание речи и т.п.), которые и пытаются безуспешно изучать.

Доказано [3], что все основные интеллектуальные функции являются свойством всего человеческого мозга, мышления в целом, поэтому и исследовать необходимо мышление в целом. Не исследуя мышление в целом, невозможно решить задачу создания искусственного интеллекта.

Необходимо отметить, что существует два основных подхода к созданию искусственного интеллекта:

1. Моделирование человеческого мышления;
2. Конструктивизм, развитие технических устройств до максимально возможного уровня сложности обработки информации.

Первый подход наиболее распространен в научном мире, но он имеет принципиальное ограничение: ни одна наука не знает, как работает человеческий мозг. Получается, что в этом направлении

ученые опираются на чужие неточные и неполные теории, что значительно затрудняет возможность получения хороших результатов. При этом в области рефлексного уровня исследований достигнуты очень большие результаты именно потому, что про рефлексы у человека и животных известно очень много.

Есть еще несколько важных ограничений в этом направлении «копирования животного мира». Например, всем известно, что самолеты крыльями не машут, но летают лучше птиц и выполняют то, что птицам не доступно. Таким образом, от получения еще одной «технической» копии человеческого мозга не будет большой практической пользы.

Миварные исследования соответствуют второму подходу и направлены на развитие технических устройств с использованием методов и достижений кибернетики, информатики и математики. Поэтому важно проанализировать основные направления и препятствия.

Как известно, информатика изучает 5 основных информационных процессов [3–21]:

1. Сбор.
2. Передача.
3. Накопление.
4. Обработка.
5. Представление данных для человека и/или выполнение действий роботом.

Сбор информации – это уровень разнообразных «датчиков» и сенсоров, собирающих информацию в разных диапазонах и передающих полученные данные для последующей обработки. Отметим, что в основном эта проблема соответствует рефлексному уровню исследований и она успешно решена. Здесь в робототехнике нет особых проблем, как и в целом в области искусственного интеллекта.

Передача информации является важным процессом, но больших проблем в этой области с точки зрения искусственного интеллекта нет. При необходимости можно в реальном времени передавать огромные массивы информации. Здесь есть сложные аспекты с обеспечением информационной безопасности и электропитанием, но все они выходят за рамки данных исследований. Таким образом, передача информации не является ограничением для создания автономных интеллектуальных роботов, которые должны работать полностью автономно и без связи с командным центром.

Процессы накопления или хранения информации обязательно должны обеспечивать возможность эволюционного наращивания и быстрого доступа к необходимой информации. В этой области начинаются значительные трудности для интеллектуальных систем, которые не решаются при

традиционных подходах баз данных и баз знаний. Миварное информационное пространство, базирующееся на концепции «Вещь–Свойство–Отношение» и на многомерном представлении данных, является новой моделью данных в области баз данных.

Миварное информационное пространство позволяет в реальном времени накапливать и одновременно быстро обрабатывать огромные массивы информации, что принципиально необходимо для систем искусственного интеллекта. Кроме того, для работы коллективов роботов миварное информационное пространство позволяет собирать вместе индивидуальные пространства роботов и позволяет роботам создавать обобщающие модели, учитывающие как личные данные конкретного робота, так и необходимые ему данные о других роботах. Это принципиально важно для логического и социального уровней исследований в области искусственного интеллекта. Более того, без такой возможности нельзя обеспечить интеллектуальное совместное поведение группы неоднородных и неравноценных роботов для решения общей задачи.

Отметим, что существуют методы решения групповых задач на основе «роя» и эволюционного программирования, но они применяются на рефлексном уровне, который (как следует из названий алгоритмов: «муравьиный», «стайный» и т.п.) соответствует поведению животных (насекомых). Поэтому эти методы группового управления тоже имеют право на существование, но все же интеллектуальное человекоподобное поведение групп роботов является более предпочтительным, чем рефлексивное поведение муравьиного роя или волчьей стаи.

Обработка информации – это наиболее важное направление. Напомним, что именно логическая обработка информации является принципиальным отличием человека от животных. Поэтому для создания интеллектуальных роботов это очень важно, так как позволяет перейти на логический и социальный уровни управления робототехническими системами. Здесь существовали серьезные ограничения по логической обработке информации, обусловленные существующим заблуждением о полном переборе при логическом выводе. Миварные сети сняли это ограничение и теперь логический вывод на производственных моделях «если – то» можно выполнять с линейной вычислительной сложностью. Например, показано, что на обыкновенном ноутбуке 1 млн производственных правил обрабатывается менее чем за 1 секунду. Это достижение очень важно для робототехнических систем, работающих в реальном времени. Теперь роботы смогут в реальном времени проводить логическую обработку и принимать решения.

Важно отметить, что роботы являются программно-аппаратными комплексами, следовательно,

кроме логических задач роботы (как и компьютеры) смогут решать весь набор математических задач. Для решения оптимизационных задач в реальном времени целесообразно использовать методы генетического и эволюционного программирования. Если роботы сталкиваются с неизвестной ситуацией, то целесообразно применять децентрализованные системы управления мобильными роботами на основе мультиагентного рекурсивного подхода.

Представление данных для человека и/или выполнение действий роботом в настоящее время является хорошо проработанным направлением. В связи с тем, что нас прежде всего интересует создание автономных робототехнических систем, то основное внимание в работе уделяется выполнению действий роботами. Представление данных для человека необходимо при отслеживании деятельности роботов и для возможности оценки их результатов в целях последующих постановок задач роботам. Выполнение действий роботами выполняется на рефлексивном уровне и очень сильно зависит от специфики каждого робота.

Таким образом, в этом направлении научных исследований с точки зрения поставленной задачи, особых проблем не выявлено, так как все необходимое робототехнические системы выполняют достаточно хорошо и быстро.

Миварные технологии и робототехника

Следует обратить внимание на то, что миварные технологии уже нашли свое использование в робототехнике и были применены в проекте «УНИКУМ». В рамках исследований (ОКР «УНИКУМ») разработаны основные принципы, методы и алгоритмы целенаправленного поведения автономного интеллектуального мобильного робота. Построены требования к архитектуре, вычислительной платформе, коммуникационному окружению, методам программирования системы управления автономного интеллектуального мобильного робота. Разработаны методы и алгоритмы децентрализованного ситуативного анализа в частично наблюдаемой динамической стохастической непрерывной среде. Разработаны методы децентрализованного интеллектуального принятия решений и управления распределенным коллективом мобильных роботов. Миварные технологии накопления (миварное информационное пространство) и обработки (миварные сети с линейной вычислительной сложностью логического вывода) информации сняли существенные научные ограничения и поэтому теперь вполне возможно создание автономных интеллектуальных роботов, которые могут объединяться в коллективы для полностью самостоятельного выполнения поставленных человеком сложных задач в реальных условиях.

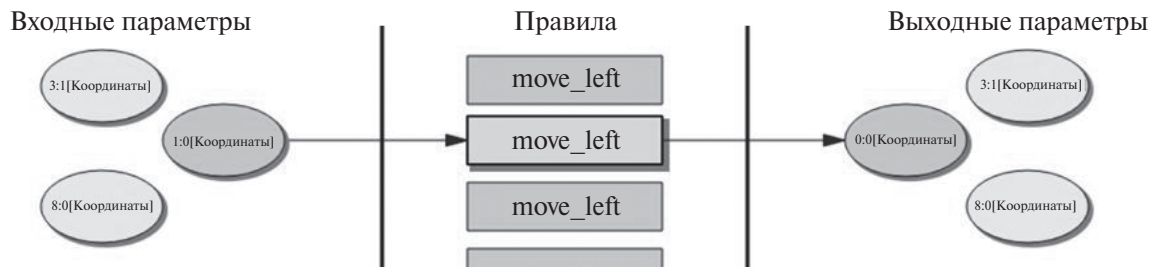


Рисунок 1. Пример двудольного графа перемещения

Также в качестве эксперимента применения миварной технологии в робототехнике была решена проблема обеспечения движения сервисного робота в офисном помещении [17]. Данный робот-секретарь предназначен для сопровождения посетителей при следовании по зданию. Например, кандидат пришел устраиваться на работу и его необходимо проводить к сотруднику, который будет проводить собеседование.

В памяти робота имеется карта помещения, в которой реальное помещение разбито на дискреты, соответствующие геометрическим размерам робота. Далее по данной геометрической модели строится граф, в котором связи между дискретам соответствуют разрешенным движениям робота (вперед, влево, вправо, назад). Если движение между дискретам запрещено, связи нет. На рис. 1 представлено одно правило, которое показывает возможность перехода между дискретам и направление этого перехода. Эта структура представляет собой базовый элемент, из которого составлена модель помещения. Всего в модели 100 правил и 63 параметра (под параметрами подразумеваются дискреты) [17]. Стоит отметить, что модель была построена в среде КЭСМИ (Wi! Mi 2.1) «Разуматор», которая является конструктором экспертных систем и основана на миварных технологиях. Данный конструктор является удобным

инструментом для написания системы принятия решений (СПР) для робота.

В ходе работ было произведено моделирование работы миварной модели управления движением в среде V-REP (рис. 2).

Обращаем внимание, что проведен ряд исследований [18–21], которые доказали перспективу объединения миварного логического ядра и системы имитационного моделирования. Подобный синтез дает возможность моделировать поведение промышленных роботов, что позволяет виртуально испытывать алгоритмы СПР в различных заданных условиях.

Также стоит отметить, что была создана многоцелевая робототехническая платформа «Муром-ИСП». Эта платформа является гибридом андроида и колесного робота: складывающееся антропоморфное тело с сенсорной головой установлено на самобалансирующееся одноосное двухколесное шасси. Платформа оборудована широким набором сенсоров и эффекторов: дальномерами, инерционными датчиками, системами глобального позиционирования, осветительной техникой, аудиосистемой с микрофонами и динамиками и пр. Для управления платформой используется система автономного искусственного интеллекта, основанного на миварных технологиях. Также были проведены полевые испытания платформы

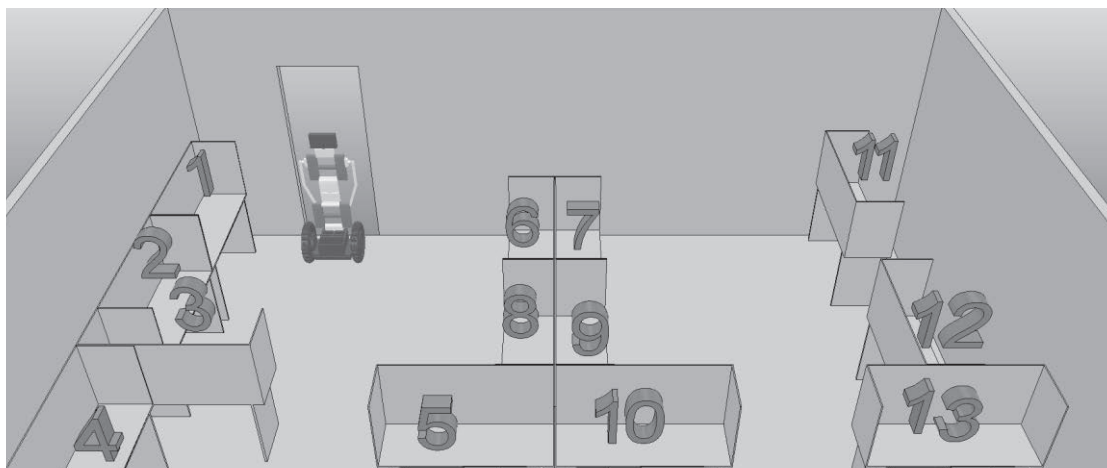


Рисунок 2. Робот находится у входа в комнату



Рисунок 3. Полевые испытания платформы «Муром-ИСП»

«Муром-ИСП» (рис. 3), на которых система показала отличные результаты.

Заключение

Основные исследования в области интеллектуальных систем управления роботами проводятся на нейрофизиологическом уровне и основаны на моделировании рефлекторного поведения, например, млекопитающих и даже насекомых. В искусственном интеллекте (ИИ) выделяют три уровня исследований: рефлексный, логический и социальный. Рефлексный уровень соответствует поведению животных, а логический и социальный соответствуют уже только «человеку разумному». На логическом уровне исследуются причинно-следственные зависимости, описываемые классическими продукциями в формате «если – то». До 2002 года на этом уровне было важное ограничение: логический вывод считался NP-полной задачей.

Миварные технологии – это многомерные базы данных и правил на основе гносеологической модели «Вещь–Свойство–Отношение» и логико-вычислительная обработка с линейной вычислительной сложностью на миварных двудольных сетях. Впервые в мире мивары позволили создать в России логический искусственный интеллект.

Мивары сняли существенные научные ограничения и теперь возможно создание автономных интеллектуальных роботов, которые могут объединяться в коллективы для полностью самостоятельного выполнения поставленных человеком сложных задач в реальных условиях. Больше нет необходимости в «аватарах» и прочих устройствах непосредственного управления роботами, так как

создаются именно автономные робототехнические системы («марсоходы»).

Миварные технологии позволили выйти на новый уровень в ИИ за счет снижения вычислительной сложности логического вывода на продукциях (автоматического конструирования алгоритмов) с NP-полной до линейной. Мивары позволяют перейти с рефлекторного на логический уровень создания «интеллектуальных» систем управления роботами и выполнять функции естественного высокоуровневого интеллекта, то есть человека.

Предложено использовать миварные технологии в целях разработки автономных интеллектуальных роботов нового поколения на основе создания на логическом уровне:

- систем планирования и принятия решений;
- интерфейсов понимания естественного языка;
- систем смыслового распознавания образов.

Программный продукт КЭСМИ «Разуматор» позволяет за сотые доли секунды обрабатывать более 5 млн продукционных правил, что соответствует требованиям реального времени для систем управления автономных интеллектуальных роботов. На основе КЭСМИ уже созданы прототипы миварных систем понимания естественного языка и распознавания образов.

Мивары позволяют создавать интеллектуальные автономные робототехнические системы и достичь желаемой цели («УНИКУМ»): разработать технологию создания программного комплекса децентрализованного управления группировкой робототехнических комплексов нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями. М.: Физматлит, 2014. 300 с.
2. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Дискретная математика. М.: Физматлит, 2014. 496 с.
3. Варламов О. О. Логический искусственный интеллект создан на основе миварного подхода! МИВАР: активные БД с линейным логическим выводом > 3 млн правил => понимание смысла + сингулярность в виртуальной реальности. Саарбрюкен, Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. 2012. 700 с.
4. Варламов О. О., Сергушин Г. С., Елисеев Д. В., Адамова Л. Е., Майборода Ю. И., Антонов П. Д., Чибирова М. О. О миварном подходе к моделированию процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов // Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 2 (4).
5. 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.
6. Варламов О. О., Адамова Л. Е., Елисеев Д. В., Майборода Ю. И., Антонов П. Д., Сергушин Г. С., Чибирова М. О. Комплексное моделирование процессов понимания компьютерами смысла текстов, речи и образов на основе миварных технологий // Искусственный интеллект. 2013. № 4. С. 15–27.
7. Варламов О. О., Адамова Л. Е., Петерсон А. О., Протопопова Д. А., Скакунова Е. А. Исследование подходов и основных проблем понимания естественного русского языка // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. № 2.
8. Майборода Ю. И., Синцов М. Ю., Озерин А. Ю., Кузин А. А., Варламов О. О. Система автоматического тегирования изображений на основе миварных технологий // Программные системы: теория и приложения. 2014. № 4. С. 159–170.
9. Чувииков Д. А., Казакова Н. А., Варламов О. О., Хадиев А. М. Анализ технологий трехмерного моделирования и создания 3D-объектов для различных интеллектуальных систем // Автоматизация и управление в технических системах. 2014. № 2.1. С. 84–97.
10. Давыдова Т. Л., Варламов О. О., Остроух А. В., Краснянский М. Н. Анализ возможностей миварного подхода для систем искусственного интеллекта и современной робототехники // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т. 17. № 3. С. 687–694.
11. Чибирова М. О., Сергушин Г. С., Елисеев Д. В., Варламов О. О. «Облачная» реализация миварного универсального решателя задач на основе адаптивного активного логического вывода с линейной сложностью относительно правил «если – то – иначе» // Автоматизация и управление в технических системах. 2013. № 2. С. 22–38.
12. 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. С. 104–111.
13. 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 Южного федерального университета. Технические науки. 2010. № 11 (112). С. 226–232.
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., Бадалов А. Ю., Санду Р. А., Владимиров А. Н., Тожа К. Э. Активная миварная интернет-энциклопедия и развитие миварных сетей на основе многомерных бинарных матриц для одновременной эволюционной обработки более 10 000 правил в реальном времени // Искусственный интеллект. 2010. № 4. С. 549.
16. Санду Р. А., Варламов О. О., Остроух А. В. Миварные автоматизированные системы управления технологическими процессами для нефтяной промышленности России // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2011. № 11. С. 37–40.
17. Жданович Е. А., Чернышев П. К., Юфимычев К. А., Елисеев Д. В., Чувииков Д. А. Вычисление произвольных алгоритмов функционирования сервисных роботов на основе миварного подхода // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 226–242.
18. Чувииков Д. А. Применение процедурной анимации в решении интеллектуальных задач и проблем, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 184–190.
19. Чувииков Д. А. Применение физического движка в решении задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием в реальном времени // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 191–199.
20. Чувииков Д. А. Применение графического движка в решении интеллектуальных задач, связанных с ситуационным трехмерным моделированием // Радиопромышленность. 2015. № 3. С. 200–209.
21. Chuvikov D. A., Kazakova N. A., Varlamov O. O., Golovizin A. V. 3D-modeling and 3D-objects creation technology analysis for various intelligent systems. International Journal of Advanced Studies, 2014, Vol. 4, no. 4, pp. 16–22.

REFERENCES

1. *Intellektual'noe planirovanie traektoriy podvizhnykh ob'ektov v sredakh s prepyatstviyami* [Intelligent planning of trajectories of moving objects in environments with obstacles]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2014, 300 p. (In Russian).
2. Gladkov L. A., Kureychik V. V., Kureychik V. M. *Diskretnaya matematika* [Discrete Mathematics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2014, 496 p. (In Russian).
3. Varlamov O. O. *Logicheskiy iskusstvennyy intellekt sozdan na osnove mivarnogo podkhoda! MIVAR: aktivnye BD s lineynym logicheskim vyvodom > 3 mln pravil => ponimanie smysla + singulyarnost' v virtual'noy real'nosti* [Logical artificial intelligence is designed under MIVAR approach! MIVAR: active databases with a linear logical inference > 3 million rules => understanding of meaning + singularity in virtual reality]. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012, 700 p. (In Russian).

4. Varlamov O. O., Sergushin G. S., Eliseev D. V., Adamova L. E., Mayboroda Yu. I., Antonov P. D., Chibirova M. O. About MIVAR-based approach to modeling of processes of understanding the meaning of texts, speech and images by computers. *Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh*, 2013, no. 2 (4). (In Russian).
5. 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.
6. Varlamov O. O., Adamova L. E., Eliseev D. V., Mayboroda Yu. I., Antonov P. D., Sergushin G. S., Chibirova M. O. MIVAR-based complex modeling of processes of understanding of the meaning of texts, speech and images by computers. *Iskusstvennyy intellekt*, 2013, no. 4, pp. 15–27. (In Russian).
7. Varlamov O. O., Adamova L. E., Peterson A. O., Protopopova D. A., Skakunova E. A. Investigation of approaches and the core problems in understanding of natural Russian language. *Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh*, 2014, no. 2. (In Russian).
8. Mayboroda Yu. I., Sintsov M. Yu., Ozerin A. Yu., Kuzin A. A., Varlamov O. O. MIVAR technologies-based automatic image tagging system. *Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya*, 2014, no. 4, pp. 159–170. (In Russian).
9. Chuvikov D. A., Kazakova N. A., Varlamov O. O., Khadiev A. M. The analysis of three-dimensional modeling technology and the creation of 3D-objects for a variety of intelligent systems. *Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh*, 2014, no. 2.1, pp. 84–97. (In Russian).
10. Davydova T. L., Varlamov O. O., Ostroukh A. V., Krasnyanskiy M. N. Analysis of possibilities of MIVAR approach for artificial intelligence systems and advanced robotics. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, Vol. 17, no. 3, pp. 687–694. (In Russian).
11. Chibirova M. O., Sergushin G. S., Eliseev D. V., Varlamov O. O. Cloud implementation of the MIVAR multi-purpose solver of problems on the basis of the active adaptive inference with linear complexity with respect to the rules of «if – then – otherwise». *Avtomatizatsiya i upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh*, 2013, no. 2, pp. 22–38. (In Russian).
12. Podkosova Ya. G., Varlamov O. O., Ostroukh A. V., Krasnyanskiy M. N. Analysis of the prospects for use of virtual reality technologies in distance learning. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo*, 2011, no. 2, pp. 104–111. (In Russian).
13. Varlamov O. O., Sandu R. A., Vladimirov A. N., Nosov A. V., Overchuk M. L. MIVAR-based approach to design of active multi-discipline expertise systems for training on information security and management of innovative resources in education. *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 11 (112), pp. 226–232. (In Russian).
14. Podkosova Ya. G., Vasyugova S. A., Varlamov O. O. Use of virtual reality technologies for three-dimensional visualization of simulation results and for MIVAR training systems. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2011, no. 1, pp. 226–232. (In Russian).
15. Varlamov O. O., Badalov A. Yu., Sandu R. A., Vladimirov A. N., Tozha K. E. Active MIVAR online encyclopedia and development of MIVAR networks based on multi-dimensional binary matrices for simultaneous evolutionary processing of over 10 000 rules in real-time mode. *Iskusstvennyy intellekt*, 2010, no. 4, pp. 549. (In Russian).
16. Sandu R. A., Varlamov O. O., Ostroukh A. V. MIVAR automated process control systems in Russian oil industry. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz v neftyanoy promyshlennosti*, 2011, no. 11, pp. 37–40. (In Russian).
17. Zhdanovich E. A., Chernyshev P. K., Yufimychev K. A., Eliseev D. V., Chuvikov D. A. Calculation of arbitrary algorithms of functioning of service robots based on MIVAR approach. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 226–242. (In Russian).
18. Chuvikov D. A. Application of procedural animation in solving intellectual problems and problems related to three-dimensional simulation modeling. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 184–190. (In Russian).
19. Chuvikov D. A. Application of physics engine in solving tasks related to three-dimensional simulation modeling in real-time mode. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 191–199. (In Russian).
20. Chuvikov D. A. Use of graphics engine in solving intellectual problems associated with three-dimensional simulation modeling. *Radiopromyshlennost*, 2015, no. 3, pp. 200–209. (In Russian).
21. Chuvikov D. A., Kazakova N. A., Varlamov O. O., Golovizin A. V. 3D-modeling and 3D-objects creation technology analysis for various intelligent systems. *International Journal of Advanced Studies*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 16–22.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Варламов Олег Олегович, д.т.н., профессор, МГТУ имени Н.Э. Баумана, директор, Научно-исследовательский институт «МИВАР», 127521, Москва, ул. Октябрьская, д. 72, e-mail: ovar@mivar.ru.

Лазарев Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, руководитель управления координации научно-технического развития, АО «Системы управления», e-mail: lazarev@oaosu.ru.

Чувиков Дмитрий Алексеевич, аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 125319, Москва, Ленинградский пр-т, д. 64, e-mail: d.chuvikov@mivar.ru.

Джа Пунам, аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 125319, Москва, Ленинградский пр-т, д. 64, e-mail: punamelina@hotmail.com.

AUTHORS

Varlamov Oleg, Doctor of Technical Sciences, Professor, Bauman Moscow State Technical University, Director, Scientific-Research Institute «MIVAR», 72, Oktyabrskaya st., Moscow, 127521, e-mail: ovar@mivar.ru.

Lazarev Viktor, Doctor of Technical Sciences, Professor, chief of the department of coordination of scientific and technical development of Joint-stock company «Control systems», e-mail: lazarev@oaosu.ru.

Chuvikov Dmitriy, postgraduate student, Department of «Automated Control Systems» Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), 64, Leningradskiy av., Moscow, 125319, e-mail: d.chuvikov@mivar.ru.

Jha Punam, postgraduate student, Department of «Automated Control Systems» Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), 64, Leningradskiy av., Moscow, 125319, e-mail: punamelina@hotmail.com.