

# ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Кораблев В.А., Мазурок Т.Л.**

*Данное исследование имеет целью выведение комплекса задач и систематизацию подходящих для их решения методологий в ходе выработки единого теоретического базиса для моделирования мультиагентных роботизированных систем (МАРС). Оно имеет характер экспериментально-размышления, предметом которого постепенно становятся потребность в подобных системах, необходимые технологические решения и оптимальный путь реализации подобных систем на примере избранной задачи. Таким образом, будут рассмотрены существующие проблемы, которые могут быть решены благодаря внедрению подобных систем, их текущие методы решений и альтернатива. Описаны как оптимальные, для внедрения в будущий производственный процесс, существующие теоретические наработки внутри дисциплины, так и рекомендуемые направления для исследовательских работ с указаниями на конкретные моменты, как использование инклинометрической техники, либо внедрения методов когнитивного интеллекта, так и с ссылками на работы конкретных специалистов, что разбирались в данных вопросах. Будут приведены данные собственных теоретических разработок с учетом интернационального опыта и синтеза смежных дисциплин, что представляют собой выведение доктрины для стандартизации МАРС, в случае их использования в реальных условиях, для задач по разрешениям кризисов, связанных с опасностью жизни человека. Приложены рекомендации к аппаратной и к математической, программной частям подхода к реализации подобных систем с указанием сильных и слабых сторон избранных методов. Сделан упор на централизованную систему управления агентами, протоколы связи, требуемое сенсорное оборудование и прочее.*

*Ключевые слова. Мультиагентная система, мультиагентная роботизированная система, когнитивный интеллект, централизованный подход, поведенческая модель.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Термин «агент» встречается практически повсеместно, если говорить о научных, либо прикладных дисциплинах. Также, как различны методы этих родов деятельности, так в них различается и значение термина «агент», кроме следующих моментов: способность к реакции на факторы среды, возможность влияния, изменяющего среду, возможность взаимодействия с прочими агентами. Эта основа перекочевала и в агентно-ориентированный подход в программировании, где дополнилась спецификами, детерминированными этой дисциплиной.

Применение агентно-ориентированного подхода – следующий логический шаг развития робототехники, объясняемый преимуществом данной дисциплины у кибернетики и информатики. Что после некоторых манипуляций можно представить в виде лакановского преобразования виртуального в реальное, но в прикладном смысле.

Любой подобный переход обязательно сопровождается рядом ограничений, вызванными свойствами среды, как известными, так и скрытыми, как условными, так и безусловными. Это приводит к сужению спектра методик реализации данного подхода. Так, в нашем случае, из среды, где единственным ограничением является время, мы переходим в реальный мир с реальными проблемами.

Часто последний факт опускается в угоду возможности теоретической спекуляции, но при действительной необходимости реализации проекта придется столкнуться со следующими факторами: непосредственная задача, квалификации операторов, угрозы среды, физические законы, ориентирование в условиях неполной картины мира, критические ситуации, поломки, размерность устройств и прочее, что по большей части упирается в текущий уровень доступных технологий.

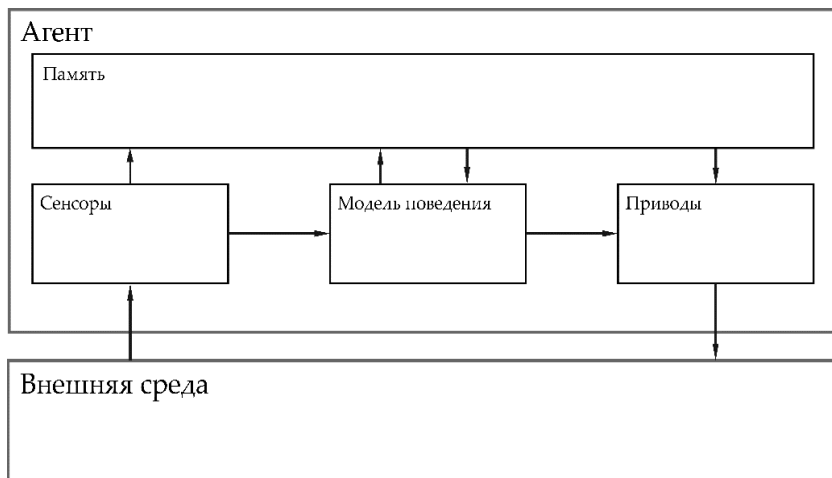


Рис. 1 – Структурная схема агента МАРС

Многоагентные системы или мультиагентные системы - это направление искусственного интеллекта, для решения сложной задачи или проблемы использует системы, состоящие из множества взаимодействующих агентов. Это направление искусственного

интеллекта, активно развивается и в настоящее время еще находится в стадии становления.

В многоагентных системах весь спектр задач по определенным правилам распределяется между всеми агентами, каждый из которых считается членом организации или группы. Распределение задач означает присвоение каждому агенту некоторой роли, сложность которой определяется исходя из возможностей агента.

Для организации процесса распределения задачи в многоагентных системах создается или система распределенного решения проблемы, или децентрализованный искусственный интеллект. В нашем варианте процесс декомпозиции глобальной задачи и обратный процесс композиции найденных решений происходит под управлением некоторого единого «центра». При этом многоагентная система проектируется строго сверху вниз, исходя из ролей, определенных для агентов и результатов разбиения глобальной задачи на подзадачи.

МАРС можно рассматривать как один из вариантов реализации мультиагентных систем (МАС), и, следовательно, каждый робот-агент должен обладать следующими свойствами: активность, способность к организации и реализации действий; реактивность, способность воспринимать состояние среды; автономность и относительная независимость от окружающей среды; общительность, что вытекает из необходимости решать свои задачи совместно с другими агентами и обеспечивается развитыми протоколами коммуникации; целеустремленность, которая предусматривает наличие собственных источников мотивации.



Рис. 2 – Структурная схема МАРС

В рамках данного доклада описывается вариант МРС, состоящий из унифицированных единиц, то есть множества идентичных агентов. Каждый агент представляет собой совокупность аппаратно-программных компонентов.

Аппаратная часть проводит измерения параметров внешней среды сенсорами, что обеспечивает возможности влияния на окружающую среду, управление исполнительными устройствами и возможность "общения" между агентами.

Программная часть выполняет задачи: анализа входных сигналов с сенсоров, а также построения модели внешнего мира, принятия решений, формирования управляющих сигналов и пакетов передачи данных.

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для начала следует определиться со спектром проблем, на которых стоит заострить внимание.

В каждый условный момент формируется некое множество задач, решения которых еще не сформированы, а решения, что не теряют актуальности для уже известных задач являются традиционными конструктами. Удобство последнее поясняется лишь за счет привычки. То есть необходимо бороться с неопределенностью, в прочем, как и с традицией, хоть последнее – заранее проигрышный вариант, что ведет к необходимости компромисса.

Для примера рассмотрим несколько вариантов возможного внедрения робототехнической системы, но стоит помнить, что специфика мультиагентного подхода подразумевает применение технологии групповой робототехники, то есть наделяет машины некоторой степенью автономии:

1. Система, заменяющая человека/группу людей на рабочем месте с малой степенью ответственности;
2. Система, заменяющая человека/группу людей на рабочем месте с высокой степенью риска и угрозы безопасности индивида;
3. Система, для работы в экстремальных условиях, заменяющая удаленного оператора;
4. Система, что дублирует/взаимодействует с человеком обеспечивая тому безопасность на рабочем месте с высокой степенью риска/ошибки.

Первый случай – несущественен, из-за наличия готовых (действенных и безопасных) решений и фактора реакции общества.

Второй – решается переходом к третьему, в противном случае сталкивается с общественным недоверием.

Третий же сложен даже с этической точки зрения, так как подразумевает упразднение рабочего места, требующего высочайший

уровень квалификации и узкой подготовленности. Также третий случай подразумевает наличие кризисных ситуаций, пути решения которых могут быть найдены лишь эмпирически, то есть появляется необходимость давать машине время на обучение при действительном ущербе, либо дублировать ее тем же специалистом.

Эти варианты крайне обобщены и абстрагированы от множества специфических отраслей человеческой деятельности, но они безусловно являются наиболее распространенными.

Четвертый же подразумевает некий синтез между навыками, безусловно квалифицированными рабочими таких отраслей, как: армия, полиция, МЧС, медицина, тяжелое сырьевое производство и т.д.; и мощностями, коими владеет роботизированное устройство по определению.

Его то и стоит рассматривать в первую очередь. Для удобства, далее подобная система будет упоминаться, как автономный роботизированный инструментарий (АРИ).

Следующим этапом становится определение уровня централизации, диктуемой спецификой данной задачи. На практике централизованный и децентрализованный подходы в робототехнике предпочтительно рассматривать не как замкнутые доктрины, но как направления двунаправленной шкалы, где наша позиция зависит от весомости критериев, которые мы рассматриваем.

Так, тенденция к миниатюризации, что упирается в плато развития микропроцессоров, требует более централизованного подхода, так как приводит к уменьшению вычислительных мощностей отдельного агента. Механическая же простота задачи способствует унификации и приемам базового группового взаимодействия, что позволяет большую степень децентрализации.

В нашем случае мы также имеем штат квалифицированных сотрудников, что могут взаимодействовать со сложными компьютерными системами, что позволяет пойти на риск и перенести значительную часть высокоуровневой обработки данных в некий центральный контролирующий блок (ЦКБ). Такое решение налагает большие требования к системам связи между агентами, но также дает возможность виртуального моделирования среды и хода выполнения заданий, что сводит к минимуму количество «полевых» ошибок.

Восвобожденный полезный объем внутри конструкции физического агента следует применить для установки более эффективных сенсоров и средств быстрого (реактивного) реагирования на угрозы, как для робота, так и для людей в непосредственной близости.

Следовательно, в этом случае модель более склонна к централизации, что позволяет удешевить производство и облегчить

ремонт роботов, что полезно, учитывая специфику кризисов в описанных выше отраслях. Этого направления и будем придерживаться далее.

Итак, предлагается разработка специальной информационной технологии, что интегрируется в робототехнический комплекс для выполнения задач автоматизации и повышения эффективности его функционирования, путем построения поведенческих моделей мультиагентной системы (МАС) с использованием принципов централизации процессов анализа и управления, как составляющих виртуальной симуляции.

Стратегии централизованного управления предполагают сосредоточение всей совокупности командно-контрольных функций в едином блоке, что обеспечивает планирование и координацию целесообразных действий элементов группы агентов при решении общих прикладных задач. Соответствующая структура системы централизованного управления должна предусматривать наличие каналов двусторонней связи между командно-контролирующим органом и каждым из робототехнических устройств.

К числу основных преимуществ систем централизованного управления необходимо отнести существенное сокращение функциональной нагрузки на рядовых членов группы, когда множество важных и сложных по своей сути вопросов, как: анализ поставленной прикладной задачи; сбор, комплексирование и интерпретацию данных об особенностях текущей ситуации, рабочей обстановки и состояние внешней среды; планирования целесообразных действий и контроль их реализации конкретными исполнителями; целенаправленно переносятся на командно-контролирующий блок.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ, АНАЛИЗ, ОБОБЩЕНИЕ И РАЗЪЯСНЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ДАННЫХ ИЛИ СРАВНЕНИЕ ТЕОРИЙ**

Переходя к конкретике, следует выбрать отдельный случай внедрения подобной МАРС. Тут будет рассматриваться система, содействующая сотрудникам МЧС для разрешения кризисов в высотных зданиях, где количество этажей делает пожарные рукава и лестницы неэффективными, учитывая их максимальную длину. А также прочие трудности, возникающие в связи с нестандартными архитектурными решениями.

В такой ситуации, инструментом решения которой рассмотрим рой роботов, существенно расширяются возможности сотрудников МЧС. Унифицированные роботизированные единицы способны переносить снаряжение, а в случае необходимости объединяться в жесткие конструкции (предотвращающие обрушение подпорки, мосты, лестницы, пандусы и даже импровизированные тоннели, защищающие от огня и

обломков). Все это позволяет значительно снизить смертность, как среди пострадавших, так и сотрудников службы спасения.

Как известно, мультиагентную роботизированную систему (МАРС) можно рассматривать как один из вариантов реализации МАС, так что каждый робот-агент имеет все известные свойства агентов [1]. Системы управления такими сложными комплексами должны обеспечивать адаптивность робототехнических устройств к кругу решаемых задач, согласование выработки траекторий движения и др. Поэтому актуальной проблемой является повышение адаптивных свойств системы управления сложными робототехническими комплексами (СРК). Для полноценного функционирования таких систем необходимо совершенствование информационного обеспечения системы управления [2].

Итак, предлагается разработка специальной информационной технологии, что интегрируется в робототехнический комплекс, и предназначена для выполнения задач автоматизации, направленных на повышение эффективности функционирования СРК.

Такая информационная технология позволяет автоматизировать процесс построения поведенческих моделей мультиагентной системы, основанные на использовании принципов централизации процессов анализа и управления, как составляющей виртуальной симуляции (рис.3).

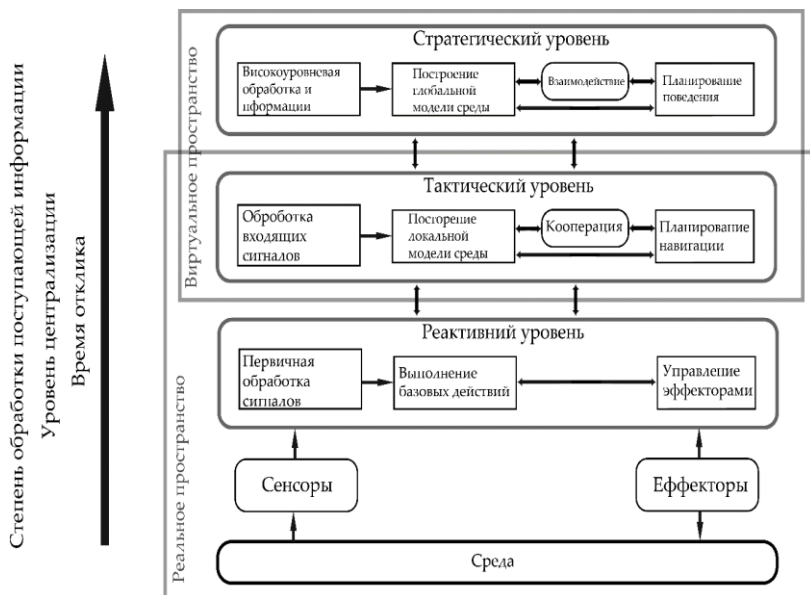


Рис. 3 – Структурная схема системы управления агента МАРС

Так, в информационной технологии, разрабатываемой предлагается расположить ЦКБ на удаленном сервере, и проводить стратегическое планирование внутри виртуальной среды, имитирующей реальное пространство (стратегический уровень).

Такой подход целесообразен при выполнении задач в среде с высокой степенью изучения, например, при наличии виртуализованных планов здания со всеми показателями (пути эвакуации, характеристики материалов, слабые и сильные элементы конструкции). Так, на основе первичного глобального формирования предполагаемого окружения и системы обратной связи с роботами-агентами, система позволяет динамично достраивать виртуальное пространство тождественное реальному и формировать алгоритм решения кризисной ситуации.

ЦКБ, благодаря высоким мощностям, может быстрее производить алгоритм решения задачи. Или же, если необходимо нестандартное решение, требующее эвристического подхода, есть возможность проработать с максимальной скоростью необходимое количество симуляций для получения решения приближенного к оптимальному, еще до непосредственного эмпирического эксперимента на местности [3].

Когда задача сформирована, она делится на подзадачи (тактический уровень) для каждой группировки роботов. Подзадачи имеют динамический характер, и они в значительной степени зависят от локальной модели пространства, сложившейся в реальное время на основе данных сенсоров каждого агента, и предназначена для оперирования по обстоятельствам. На этом этапе происходит распределение задач навигации и манипуляции эффекторами агентов.

На данном уровне необходимо повысить коэффициент автономии. Необходимость в реакционных возможностях, в плане построения/перестройки маршрутов, либо порядка взаимодействий между агентами и объектами окружения, диктует потребность в использовании современных решений искусственного интеллекта [4].

Данная необходимость растет по мере повышения сложности проходимой местности и количества задач, что ставит оператор системы. Критические ситуации, для которых она подготавливается, априори несут в себе огромные требования по мультизадачной нагрузке группировок агентов, что может вызвать коллизии в протоколах их собственных, отдельных от непосредственного управляющего сигнала, каналах общения. Это потребует полевого тестирования и развития теперешних доктрин мультиагентных коммуникаций [5].

Более того, первые версии подобных систем необходимо создавать при обширной консультационной поддержке профессионалов, в отраслях которых оные будут задействованы. Это абсолютная необходимость, но она внедряет человеческий фактор, а точнее узкую область личного опыта конкретного специалиста, в подготовку машин,



от которых ожидается универсальность в подходе к выполнению задач. Первичное обучение нейросети может оказаться недостаточным, а значит необходимо внедрение адаптивных механизмов, и инструментов динамического полевого обучения [6]. А значит, потребуются новейшие технологии коммуникаций [7] и синхронизации симуляции реального пространства с данными протоколами [8].

Также для реализации подобного модуля необходимо интегрированное, как на уровне командного центра, так и отдельного агента, программное обеспечение, осуществляющее мягкие вычисления, и набор нестандартных для подобных систем датчиков, содержащих инклинометрические приборы высокой точности и скорости сбора данных [9].

Остается открытым вопрос организации реакционного поведения отдельного агента (реактивный уровень). Предполагается, что оптимально корректное выполнение задания агентом все время находится под угрозой, как внешней (механические препятствия, непосредственные угрозы и т.п.), так и внутренней (ошибка в навигации, повреждения самой единицы и т.п.). Эти факторы обуславливают необходимость определенного уровня автономности агента, что требует реализации малой когнитивной системы (МКС).

Здесь МКС будет ответственна за разработку всех возможных вариантов действий, которые должны быть сформированными в случае опасности для агента, оператора или постороннего человека, если нет соответствующей инструкции с более высокого уровня командной иерархии. Также во внекризисное время данная система будет отвечать за реактивное маневрирование агента, что необходимо для корректировки его положения в пространстве в соответствии с траекторией движения, отвечающей заданию с более высокого уровня [10].

## **ВЫВОДЫ**

Подводя черту под всем вышесказанным, можно утверждать, что, учитывая сегодняшний технологический уровень (Так как элементом «прогресса» в науке должно пренебрегать из-за того, что следует рассматривать те факты, что есть, а не те, что должны быть.) модели МАРС направленные на решение специализированных под групповую робототехнику задач все еще стремятся в централизации.

Это обусловлено теперешним уровнем технологии нейросетей (что была деконструирована в угоду упрощения мат. аппарата) которую для оперирования в реальной среде следует подкреплять стоящими выше системами жесткого контроля, основанными на огромном массиве логических вентилей и, желательно, контролем со стороны оператора. Обусловлено доступностью необходимой по критерию

стрессоустойчивости аппаратуры на массовом рынке. Обусловлено безусловность наличия человеческого фактора в множестве формируемых решений.

Такая модель подразумевает многоуровневую структуру (стратегический, тактический и реактивный), где по нисходящей уменьшается сложность и глобальность принимаемых решений, но повышается отклик системы, что в конечном итоге приводит к системам балансировки и экстренной реакции на угрозы. Это требует включения на реактивном уровне технологии МКС, что будет обеспечивать имитацию инстинктивного (детерминированного свойствами отдельного агента) поведения.

Главный недостаток этой схемы заключается в ее потенциальной уязвимости, поскольку выход из строя ЦКБ неизбежно приводит к нарушению работоспособности системы в целом. Также проблемы могут возникнуть из-за экранирования рабочих участков и через сторонние препятствия для прохождения сигнала. При таком варианте возникает потребность в использовании сложных протоколов коммуникаций с дублирующими методами передачи данных и постоянной проверкой их актуальности, и борьбе с коллизиями.

Итогом же данного исследование была попытка индоктринации выработанной модели для дальнейшего развития МАРС внутри ее парадигмы, что должно направить мощности, как специалистов, так и меценатов на реальные рельсы.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] Schelling T.C. Dynamic models of segregation // The Journal of Mathematical Sociology, 1971. – Vol. 1. – № 2. – P. 143 – 186.
- [2] Wooldridge M. An introduction to multiagent systems. – JOHN WILEY & SONS, LTD, 2002. – 484 p.
- [3] Sarkar A., Debnath N. Measuring complexity of Multi-Agent System architecture // IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics, 2012. – P. 998 –1003.
- [4] Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3rd. – Upper Saddle River, NJ, USA : Prentice Hall Press, 2009. – 1152 с.
- [5] Communicating Agents in Open Multi Agent Systems / T.R. Payne // Proceedings of 1st GSFC/JPL Workshop on Radical Agent Concepts (WRAC), 2002. – С. 365 – 371.
- [6] Xiao L., Greer D. Modeling, Auto-generation and Adaptation of Multiagent Systems // Proceedings of the Tenth CAiSE/IFIP8.1 International Workshop on Exploring Modeling Methods in Systems Analysis and Design (EMMSAD'05) . – Porto, Portugal, 06.2005. – С. 605 – 616.
- [7] Pitt J., Mamdani A. Communication Protocols in Multiagent Systems: A Development Method and Reference Architecture // Issues in Agent

Communication / под ред. F. Dignum, M. Greaves. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2000. — С. 160 –177.

[8] Gehrke J.D., Schuldt A., Werner S. Quality criteria for multiagent-based simulations with conservative synchronisation // 13th ASIM Dedicated Conference on Simulation in Production and Logistics / под ред. M. Rabe. — Fraunhofer IRB Verlag, 2008. — С. 545 – 554.

[9] Рыжков И.В. Инклинометрические приборы. Конструкции и способы повышения точности // Saarbrucken, Deutschland: LAPLAMBERT Academic Publishing, 2016. — 274 с.

[10] Прокопчук Ю.А. набросок формальной теории творчества. - Днепр: Изд-во ПГАСА, 2017. — 452 с.

## **INFORMATION TECHNOLOGY FOR BUILDING BEHAVIORAL MODELS OF MULTIAGENT ROBOTECNICAL SYSTEMS**

**Korablev V.A., Mazurok T.L.**

*This study aims to derive a set of tasks and systematize methodologies suitable for their solution in the course of developing a unified theoretical basis for modeling multi-agent robotic systems (MARS). It has the character of a reflection experiment, the subject of which is gradually becoming the need for such systems, the necessary technological solutions and the optimal way to implement such systems using the example of a chosen task. Thus, existing problems that can be solved through the introduction of similar systems, their current methods of solutions and an alternative will be considered. It describes both optimal, for introducing into the future production process, existing theoretical developments within the discipline, and recommended areas for research with indications of specific points, both using inclinometric techniques, or introducing methods of cognitive intelligence, and with references to the work of specific specialists, that understood these issues. The data of our own theoretical developments will be presented taking into account international experience and the synthesis of related disciplines, which are the derivation of the doctrine for standardizing MARS, if used in real conditions, for tasks on resolving crises related to the danger of human life. Recommendations are attached to the hardware and mathematical, software parts of the approach to the implementation of such systems, indicating the strengths and weaknesses of the selected methods. Emphasis is placed on a centralized agent management system, communication protocols, required sensor equipment, etc.*

*Keywords. Multi-agent system, multi-agent robotic system, cognitive intelligence, centralized approach, behavioral model.*