

Бурлуцкая Жанна Владиславовна,
мл. науч. сотр., аспирант

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ЗАДАЧ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО РАСПИСАНИЯ

Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Передовая инженерная школа СПбПУ «Цифровой инжиниринг», лаборатория «Цифровое моделирование промышленных систем», zhanna.burlutskaya@spbpu.com

Аннотация. Задачей данного исследования является анализ существующих практик применения мультиагентного подхода с целью анализа перспектив его применимости в контексте задач составления производственного расписания. В ходе исследования были выделены основные проблемы текущих исследований мультиагентного подхода, которые предлагается решать за счет сужения сфер применения на основании опыта успешных практик, а также разработки формализованных инструментов реализации частных мультиагентных моделей. Результатом исследования является аналитический обзор исследований мультиагентных систем, включающих описание отдельных научных школ, фундаментальных исследований и частных практик применения.

Ключевые слова: цифровое моделирование, агент, субъект управления, мультиагентный подход, исследование операций, производственная система, расписание, целевая функция.

Zhanna V. Burlutskaya,
Junior Researcher, Postgraduate Student

THE POSSIBILITIES OF USING A MULTI-AGENT APPROACH FOR PRODUCTION SCHEDULING TASKS

Laboratory of Digital Modeling of Industrial Systems, “Digital Engineering”
Advanced Engineering School, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic
University, St. Petersburg, Russia, zhanna.burlutskaya@spbpu.com

Abstract. The aim of this study is to analyze the existing practices of using the multi-agent approach in order to analyze the prospects of its applicability in the context of the tasks of creating a production schedule. The study highlighted the main problems of current research on the multi-agent approach, which are proposed to be solved by narrowing the scope of application based on the experience of successful practices, as well as the development of formalized tools for the implementation of private multi-agent models. The result of the study

is an analytical review of research on multi-agent systems, including a description of individual scientific schools, basic research and private application practices.

Keywords: digital modelling, agent, control subject, multiagent approach, operations research, production system, schedule, target function.

Введение

Реальные производственные системы характеризуются наличием нескольких заинтересованных сторон, каждая из которых стремится к достижению собственных целей/выполнению специфических показателей. При этом стратегическое управление в подобных распределенных системах направлено на достижение глобальных целей системы и зачастую не учитывает интересы отдельных агентов. Следовательно, принимаемые управленческие решения будут, во-первых, встречать сопротивление со стороны отдельных агентов системы, во-вторых, вести к ухудшению показателей этих агентов. Все вышесказанное определяет необходимость в разработке инструментов поиска устойчивых решений, при которых как сама система, так и ее агенты смогут выполнить свои целевые показатели. Таким образом, данное исследование направлено на решение проблемы низкой адекватности существующих моделей и методов производственного планирования, обусловленной неустойчивостью получаемых решений. В ходе решения данной проблемы предлагается исследование возможностей применения мультиагентного подхода для формирования расписаний в производственных системах.

1. Постановка задачи

Отличительной особенностью мультиагентного подхода является переход от пассивных агентов, описываемых в виде классов объектов в объектно-ориентированном подходе, к активным интеллектуальным агентам, способным воспринимать окружающую среду и реагировать на ее изменения. Каждый из агентов в такой системе обладает собственными уникальными особенностями, целями и, следовательно, стратегиями поведения. В мультиагентной системе агенты общаются друг с другом, в частности обмениваются ресурсами и принимают совместные решения. Успешность функционирования такой системы будет зависеть от способности агентов работать сообща. Использование мультиагентного подхода в контексте решаемой задачи обуславливается необходимостью учета фактической мультиагентности производственных систем, как минимум в части учета различных целевых функций отдельных агентов и всей системы в целом. Частными примерами подобных производственных систем могут быть, например, системы разработки месторождений в нефтегазовой компании, которые, с одной стороны, состоят из отдельных скважин, с другой стороны, являются частями единой региональной системы. Следовательно, каждый производственный объект (скважина) будет стремиться к достижению своих целевых показателей по объему нефтедобычи или

количеству пробуренных скважин, при этом ресурсы на достижение этих показателей будут использоваться общие.

Однако несмотря на то, что исследования в области мультиагентного моделирования ведутся уже несколько десятилетий, на данный момент не удалось найти устойчивых решений по его применимости в рамках поставленной задачи. Следовательно, на данном этапе исследования необходимо рассмотреть существующие практики применения мультиагентного подхода для решения схожих задач и, соответственно, сделать вывод о возможностях его применимости в контексте задач составления производственного расписания.

2. Материалы и методы

В ходе исследования анализируются научные публикации из баз Scopus и RSCI, посвященные практикам применения мультиагентного подхода, в частности для задач планирования. Ключевые слова для поиска и отбора публикаций включали: multiagent systems, agent, control subject, multiagent approach, operations research, production system, schedule, scheduling theory.

3. Результаты

Следует отметить, что теория мультиагентных систем и практики ее применения для решения различных задач разрабатываются уже несколько десятилетий. При этом данный подход не получил широкого промышленного распространения, несмотря на то что регулярно включается в список наиболее перспективных направлений исследований. Данный парадокс вызван несколькими причинами [1, 2]. Во-первых, мультиагентные модели сложны как с точки зрения математической формализации, так и с точки зрения программной реализации, поэтому зачастую используются исключительно для концептуального описания поставленных задач. Во-вторых, не существует общепринятой терминологической базы в контексте мультиагентного подхода, что затрудняет обмен результатами исследований внутри научного сообщества, а также между разработчиками программных решений. В-третьих, интерес к промышленному внедрению мультиагентных систем с момента их появления значительно снизился за счет технологического развития и появления альтернативных инструментов, обладающих узким назначением и относительной легкостью программной реализации. Наконец, позиционирование мультиагентного подхода в качестве универсального инструмента на данный момент не реализовано на практике, что повлияло на развитие отдельных практик применения подхода для узкоспециализированных задач.

Однако, мультиагентный подход остается перспективным инструментом решения сложных, многокритериальных и плохо формализуемых задач. Среди успешных практик применения мультиагентного подхода

можно выделить задачи по извлечению знаний, распознаванию образов, управлению ресурсами [3, 4] и непосредственно составлению расписаний [2, 5]. Также интересны практики применения мультиагентного подхода для управления организационными системами и, в частности, конфликтными ситуациями [6, 7].

Таким образом, развитие исследований мультиагентных систем может быть достигнуто за счет сужения сфер применения на основании опыта успешных практик, а также разработки формализованных инструментов реализации частных мультиагентных моделей [1, 2, 8].

Основоположниками исследований мультиагентных систем в нашей стране являются В. А. Виттих и П. О. Скобелев (научная школа сложных систем и мультиагентных технологий в ИПУСС РАН – СамНЦ РАН), В. И. Городецкий (лаборатория интеллектуальных систем в СПИИРАН). Каждая из этих научных школ занимается исследованиями мультиагентных систем на протяжении нескольких десятилетий. За это время выполнялись как фундаментальные исследования основ мультиагентных систем, так и практические разработки отдельных инструментов в области транспортной логистики, включая составление расписаний [9] и управление инцидентами [10]. Примечательно, что в разное время в данных научных школах реализовывались проекты по разработке методик и языков создания мультиагентных систем [11], однако данные разработки не получили дальнейшего развития и распространения на практике за пределами данных научных школ. Таким образом, вопросы формирования расписания с использованием мультиагентных систем были затронуты в исследованиях упомянутых авторов, но не получили развития в виде формализованных методов и моделей. При этом актуальность и перспективность подобных исследований упомянута сразу в нескольких работах исследователей [2, 5].

Среди других исследований мультиагентных систем в нашей стране выделяются работы под руководством К. С. Амелина и О. Н. Граничина (научно-образовательный центр «Математическая робототехника и искусственный интеллект» в СПбГУ).

Важно отметить, что исследования мультиагентного подхода не ограничиваются описанными научными школами, существует множество научных лабораторий искусственного интеллекта и мультиагентных систем в университетах и научных центрах по всему миру, в том числе в Китае, США, Англии, России, Бельгии, Нидерландах, Румынии и так далее (например, “Artificial Intelligence Research Centre” и “Research center in Department of Computing in Imperial College London” в Великобритании, “Marco Taisch's Lab”, “Leadin'Lab” в Италии или “Delft Center for Systems and Control” in TU Delft в Нидерландах). По большей части релевантные исследования в этих центрах связаны с применением мультиагентного подхода в робототехнике и военной промышленности. Из основоположни-

ков мультиагентного подхода и авторов фундаментальных исследований в этой области можно выделить Scott A. DeLoach, Katia Sycara, Petter Holme. Работы данных исследователей посвящены исследованию интеллектуальных агентов в целом, а также разработке подходов к формализации стратегий их поведения.

На основании проанализированной информации можно выделить несколько кластеров публикаций (см. табл. 1).

Таблица 1

Кластеры публикаций

Кластер	Авторы/научные школы
Фундаментальные и/или формально теоретические работы, нацеленные на развитие математических и алгоритмических средств	В. А. Виттих, П. О. Скобелев П. О., Scott A. DeLoach, Katia Sycara, Petter Holme. Научная школа сложных систем и мультиагентных технологий в ИПУСС РАН – СамНЦ РАНa ,«Artificial Intelligence Research Centre», «Research center in Department of Computing in Imperial College London», «Marco Taisch's Lab», «Leadin'Lab», «Delft Center for Systems and Control»...
Концептуальные работы, в которых представлены концептуальные модели или подходы	Скобелев П. О., Тушканова О., Швецов А. Н. Научная школа сложных систем и мультиагентных технологий в ИПУСС РАН – СамНЦ РАНa ,«Artificial Intelligence Research Centre», «Research center in Department of Computing in Imperial College London», «Marco Taisch's Lab», «Leadin'Lab», «Delft Center for Systems and Control»...
Узкоспециализированные практико-ориентированные работы, предлагающие инструменты и методы для решения конкретных частных задач предметной области	Владимиров А. В., Амелин К. С., Граничин О. Н., Городецкий В. И., Бухвалов О. Л., Чернышев С. А. Научно-образовательный центр «Математическая робототехника и искусственный интеллект»

Интересно, что фундаментальные и концептуальные работы зачастую разрабатываются в одних и тех же научных центрах. Следовательно исследователи изначально стараются связывать фундаментальную и прикладную науку. Однако, у этих же научных школ не представлены фактические практико-ориентированные работы. Это может быть вызвано тем, что практико-ориентированные работы выполняются в рамках частных заказов и не могут быть опубликованы. Либо исследователи акцентируют свое внимание исключительно на теоретических исследованиях.

Возвращаясь к отдельным практико-ориентированным работам, стоит обозначить, что большинство из них является в некоторой степени побочными в рамках разработки робототехнических комплексов, в частности в

военной промышленности. Подобные исследования ведутся не одно десятилетие и насчитывают множество успешных практик применения.

В рамках исследования можно выделить конкретные задачи, решаемые с использованием мультиагентного подхода. Поскольку в рамках исследования рассматриваются практики применения мультиагентного подхода для решения задач схожих или связанных с составлением производственного расписания, то дальше не будут рассматриваться практики, связанные с робототехникой и военной промышленностью. Успешные практики применения мультиагентного подхода для решения задач схожих или связанных с составлением производственного расписания представлены в таблице 2.

Таблица 2

Практики применения

Задача	Авторы
Извлечение знаний	Амелин К. С., Граничин О. Н.
Распознавание образов	Городецкий В. И., Скобелев П. О.
Управление ресурсами	Скобелев П. О.
Составление расписаний	Городецкий В. И., Бухвалов О. Л., Скобелев П. О.
Управление конфликтными ситуациями	Чернышев С. А., Швецов А. Н., Дианов С. В.

Из всего вышесказанного следует, что исследование применения мультиагентного подхода для составления расписаний является актуальной и перспективной задачей, обладающей научной значимостью и не рассмотренной в достаточной мере мировым научным сообществом.

Заключение

В данной работе были исследованы практики применения мультиагентного подхода для решения широкого круга задач. На основании проанализированной информации были сделаны выводы о применимости мультиагентного подхода для задач составления производственных расписаний. Данный вывод основан на том, что исследования по применению мультиагентного подхода для решения смежных задач показали свою применимость и обоснованность, что подтверждается конкретными примерами.

В ходе исследования были выделены основные научные школы по всему миру, которые занимаются как фундаментальными исследованиями по развитию методологических и инструментальных средств мультиагентного моделирования, так и разработкой концептуальных и практико-применимых моделей для решения конкретных задач. Более того, в рамках исследования были выделены основные проблемы мультиагентного подхода и текущих работ в данной области. Таким образом, полученные результаты представляют собой аналитическую основу для дальнейших

исследований по разработке системы управления производственным расписанием на базе мультиагентного подхода.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 075-03-2024-004 от 17.01.2024).

Список литературы

1. Чернышев С. А. Проблемы мультиагентных систем и возможные пути их решения // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2023. – Выпуск 3.
2. Городецкий В. И., Бухвалов О. Л., Скобелев П. О., Майоров И. В. Современное состояние и перспективы индустриальных применений многоагентных систем // Управление большими системами. – 2017. – № 66. – С. 94–157.
3. Gorodetsky V., Kozhevnikov S., Novichkov D., Skobelev, P. The Framework for Designing Autonomous Cyber-Physical Multi-agent Systems for Adaptive Resource Management // Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems. – 2019. – Pp. 52–64.
4. Skobelev P. Multi-agent systems for real time resource allocation, scheduling, optimization and controlling: industrial applications // 5th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS 2011), Toulouse, France, August 29–31, 2011. – 2011. – Pp. 1–14.
5. Городецкий В. И., Карсаев О. В. Многоагентная система планирования и составления расписаний: разработка распределенной базы знаний // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2001. – № 4.
6. Магомедов О. Р., Чернышев С. А. Мультиагентная система поддержки принятия решений для минимизации стоимости группируемых товаров // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2022. – № 4. – С. 97–107.
7. Швецов А. Н., Дианов С. В., Дианов Д. С. Проектирование мультиагентной системы разрешения межфункциональных конфликтов на предприятии // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2022. – № 1(106). – С. 74–89.
8. Владимиров А. В. Моделирование взаимодействия агентов в многоагентной системе с помощью цветных сетей Петри и нечеткой логики // Программные продукты и системы. – 2014. – № 1(105).
9. Gorodetsky V., Karsaev O., Konyushiy V., Samoylov V. Transportation logistics services from cloud // Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT), 2012. IEEE/WIC/ACM International Conferences. – 2012. – Vol. 3. – Pp. 215–219.
10. Gorodetsky V., Karsaev O., Samoylov V., Skormin V. Multi-agent technology for air traffic control and incident management in airport airspace // 5th International Workshop on Agents in Traffic and Transportation (ATT-08), Held at AAMAS 2008, Portugal, May 2008. – 2008. – Pp. 118–125.
11. Tushkanova O., Gorodetsky V. Data-driven semantic concept analysis for automatic actionable ontology design // Proc. 2015 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (IEEE DSAA'2015), Paris, France, October 19–21, 2015. – IEEE, 2015. – Pp. 5–9. –DOI:10.1109/DSAA.2015.7344893.