

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ МЕГАПРОЕКТОВ НА БАЗЕ АГЕНТНОГО ПОДХОДА: ТОПОЛОГИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ

Татьяна Николаевна Есикова

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)333-25-96, e-mail: T.N.Yesikova@gmail.com

Светлана Витальевна Вахрушева

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, аспирант, тел. (983)314-94-41, e-mail: s.vakhr@gmail.com

В работе ставится проблема моделирования процессов, сопряженных со реализацией крупномасштабных инфраструктурных проектов на примере трансконтинентальной магистрали через Берингов пролив (развитие транспортной сети на территориях Крайнего севера). Целью моделирования является выявление потенциальных проблем и оценка потерь для различных участников данных мегапроектов. Исследование проводится на базе такого метода имитационного моделирования как мультиагентное моделирование. В статье приводится описание основ построения топологии мультиагентной системы применительно к данной задаче: декомпозиция процесса на подпроцессы, идентификация основных действующих агентов, описание характеристик (атрибутов) данных агентов, определение вида их взаимодействия. Также в статье был представлен граф, который является представлением прототипа мультиагентной системы для данной задачи и описаны взаимодействия агентов.

Ключевые слова: инфраструктурные мегапроекты, имитационное моделирование, мультиагентные системы (МАС), агенты, построение топологии МАС, архитектура МАС.

ASSESSMENT OF CONSEQUENCES OF IMPLEMENTATION OF LARGE-SCALE INFRASTRUCTURE PROJECTS BASED ON THE AGENT APPROACH: TOPOLOGY OF THE MULTIAGENT SYSTEM

Tatyana N. Yesikova

Institute for Economics and Industrial Engineering SB RAS, 17, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, phone: (383)333-25-96, e-mail: T.N.Yesikova@gmail.com

Svetlana V. Vakhrusheva

Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Ph. D. Student, phone: (983)314-94-41, e-mail: s.vakhr@gmail.com

The article poses the problem of modeling processes associated with the construction of large-scale infrastructural projects in the context of the Bering Strait tunnel (road construction in the Far North). The purpose of the simulation is to identify potential problems and estimate losses for various participants in similar projects. The study is based on such a simulation method as multi-agent modeling. The article describes the basics of building the topology of a multi-agent system in relation to this task: decomposing a process into subprocesses, identifying the main active agents, describing of the characteristics (attributes) of these agents, determining the type of their interaction.

The article also presents a graph that is the prototype of a multi-agent system for a specific subject area and a description of the interactions of the identified agents.

Key words: large-scale infrastructural projects, simulation modelling, multi-agent system (MAS), agents, building MAS topology, MAS architecture.

Введение

Современный этап развития России характеризуется особым вниманием к мегапроектам инфраструктурной направленности. Это обуславливается несколькими аспектами. Во-первых, в первые два десятилетия с момента образования РФ практически не уделялось должного внимания транспортной инфраструктуре, что привело к утрате конкурентоспособности многих регионов и страны на межгосударственных рынках. Во-вторых, сложностью выбора наиболее критичных транспортных мегапроектов, подлежащих реализации из множества предлагаемых самыми разными экономическими акторами. В-третьих, непрозрачностью высоким уровнем неопределенности тех экономических и экологических результатов [1, 2], которые заявляются инициаторами этих инфраструктурных проектов. В-четвертых, значительным влиянием личностной субъектной составляющей при «продвижении» этих проектов в коридорах власти.

Все это порождает потребность в наличии инструментария, который позволил бы моделировать ход развития событий при реализации крупномасштабного инфраструктурного проекта с учетом уникальных качеств и возможности влияния различных экономических акторов на коренной перелом хода реализации проектов.

Методы и материалы

Средствами «классического» экономико-математического инструментария на сегодняшний день решается широкий спектр задач транспортной отрасли [3–25], к примеру задачи минимизации транспортных издержек [3], оптимизации логистических путей [4], управления ресурсами в реальном времени (интеллектуальная система управления ресурсами РЖД SmartRailways) [5–8], управление грузоперевозками (мультиагентная система SmartTrucks) [6], моделирование загрузки транспортной сети [9] и др.

В результате анализа множества решений, предложенных исследователями в области задач транспортной отрасли, можно сделать вывод, что особое внимание уделяется такому методу имитационного моделирования, как мультиагентное моделирование [10, 17–25], причём данный подход оказался весьма эффективным и позволил успешно решить поставленные задачи различного характера, начиная от проблем транспортной логистики [12], задач согласования спроса и предложения (разработка компании “Магента”) [13], задач распределенной оптимизации в системах с ограничениями [14], заканчивая построением расписания полетов и грузоперевозок для Международной космической станции [6].

Суть метода мультиагентного моделирования заключается в имитации процесса взаимодействия интеллектуальных агентов. Таким образом, основное преимущество метода в том, что он делает возможным описание характеристик свойств и поведения различных участников процесса имитации, что, в свою очередь, позволяет отразить неоднородность, уникальность, многообразие и динамику взаимодействия, а значит, структуру моделируемого процесса наиболее приближенно к реальности.

Предметная область данного исследования связана прежде всего с такими крупномасштабными транспортными проектами [15], как Трансконтинентальная магистраль (ТКМ) через Берингов пролив, Северный широтный ход и др. Мегапроекты (на данном этапе их разработки) требуют не столько выявления и анализа частных логистических проблем [6, 15], характерных для этапа эксплуатации и вовлечения в те или иные транспортно-логистические связи, сколько моделирования самого процесса их реализации и опережающего выявления потенциальных проблем, а также оценки сопряженных с этим потерь для различных экономических акторов. В рамках данного исследования акцент сделан на проект ТКМ через Берингов пролив.

Применение мультиагентного подхода в рамках поставленной задачи предполагает следующие шаги [11]:

- расщепление общего бизнес-процесса на компоненты (подпроцессы);
- выбор рационального состава значимых участников процесса
- идентификация участников в качестве различных типов агентов;
- выявление свойств и атрибутов агентов;
- определение способов взаимодействия агентов друг с другом на основе анализа принципа протекания и результатов развития выделенных подпроцессов;
- идентификация окружения агентов (информационной среды);
- формирование правил, изменяющих атрибуты агентов в ответ на их взаимодействие друг с другом и окружающей средой.

Тем самым, в ходе исследования общий процесс реализации проекта ТКМ был декомпозирован на части, после чего были выявлены его основные значимые участники, вслед за этим с позиции мультиагентной системы (МАС) были описаны как сами агенты, так и методы их взаимодействия.

Следует отметить, что на данном этапе ведётся разработка первой версии МАС, с помощью которой осуществляется моделирование лишь основных процессов реализации проекта ТКМ, а именно:

- а) согласование проекта ТКМ на федеральном уровне (в том числе, при внесении изменений в проект);
- б) взаимодействие федеральных властей и компаний-инвесторов;
- в) передача соответствующих разделов проекта региональным органам власти;
- г) проведение региональными властями тендеров на осуществление строительных работ;
- д) закупка региональными властями необходимого оборудования;

е) проведение публичных слушаний представителей общественных организаций.

Соответственно, идентифицируется следующий состав агентов:

а) представители федеральных министерств (агентства, службы, надзоры: Росжелдор, Росавтодор, Росприроднадзор и др.);

б) структуры региональных и муниципальных органов власти;

в) компании-инвесторы (ресурсодобывающие компании, ведущие разработку в регионе) или отдельные инвесторы;

г) инжиниринговые строительные организации и инженерные организации, непосредственные разработчики проектов;

д) общественные организации (сообщества по защите прав коренных малочисленных народов Севера; общественная экологическая экспертиза; региональные общественные организации природоохранного направления автономного округа, например, такие как «Умки-патруль» и др.);

е) компании-поставщики оборудования (производственные предприятия, способные обеспечить строительство как материалами, так и необходимой техникой, способной производить работы в условиях Крайнего Севера);

ж) подрядные организации (строительство железной дороги, автомагистрали, нефте- и газопровода, строительство коммуникаций для передачи электроэнергии, благоустройство прилегающих территорий и др.);

На этапе имитации между перечисленными группами агентов возникают взаимодействия по концепции «многие-ко-многим», отражающие суть процессов, протекающих в реальности. В данном случае взаимодействие агентов (как между собой, так и с окружающей средой) технически осуществляется посредством передачи сообщений, которые могут содержать, к примеру: задания (в которых изложена лишь суть задачи, но не способ её выполнения); уведомления о выполнении задания; уведомления о возникновении какого-либо события (в качестве инициирования взаимодействия) и др.

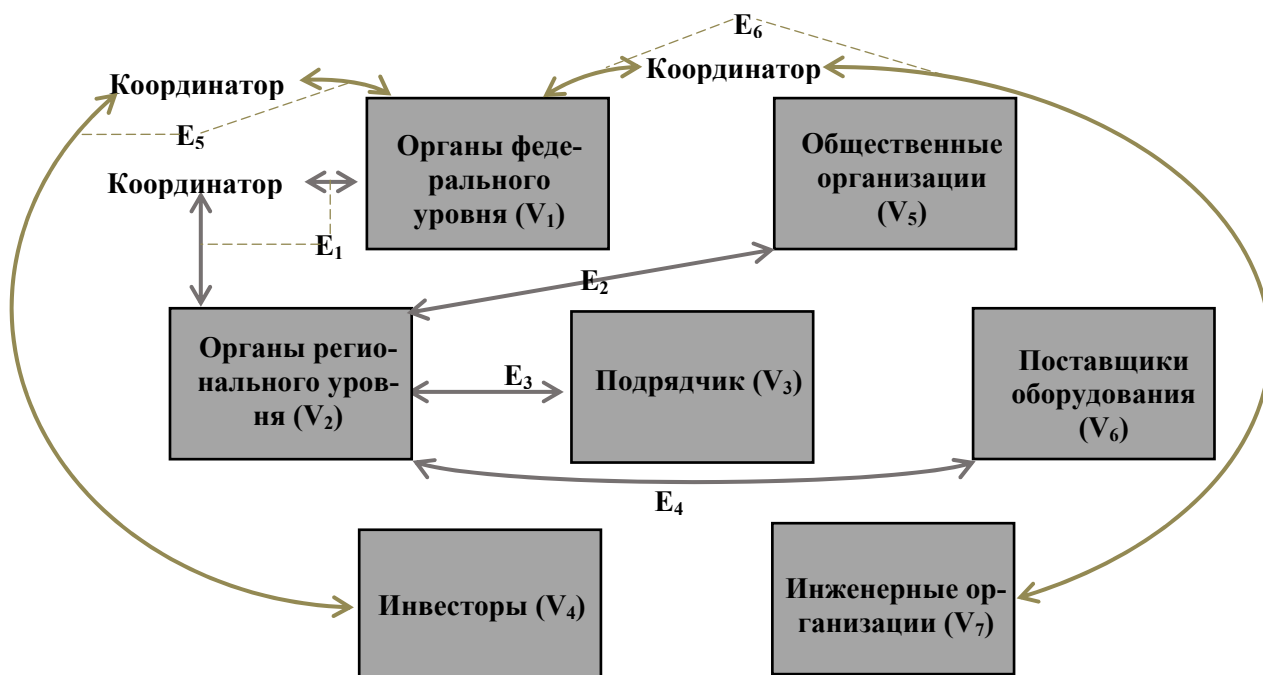
Топология взаимосвязей в данном прототипе МАС представлена на рисунке в виде графа $G = (V_n, E_m)$, где:

V – множество вершин (множество различных групп агентов), $|V| = n = 7$; $E \subset V \times V$ – множество рёбер (множество различных видов отношений между агентами), $|E| = m = 6$.

Например:

$V1 = \{v_{11}, \dots, v_{1k}\}$ – множество агентов группы представителей федеральных министерств, k – количество агентов данного типа; $V2 = \{v_{21}, \dots, v_{2l}\}$ – множество агентов группы представителей региональных органов, l – количество агентов данного типа и т. д.

На рисунке также отображены вспомогательные элементы функционирования мультиагентной системы – агенты-координаторы, которые предназначены технически поддерживать сбор сообщений и их синхронизацию с целью поддержания целостности и непротиворечивости различных задач, формируемых агентами.



Топология взаимосвязей между типами агентов

Структура взаимодействия агентов также отражена в матрице инцидентности графа в таблице. Строки, как и столбцы, именованы вершинами графа. В случае, если пара вершин (V_x, V_y) смежна, то на пересечении строки и столбца указано инцидентное им ребро E_z . Другими словами, в случае, если агент типа V_x вступает во взаимосвязь с агентом типа V_y , то в ячейке (V_x, V_y) указан тип их взаимодействия.

Матрица инцидентности графа $G = (V_n, E_m)$

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7
V_1	0	E_1	0	E_5	0	0	E_6
V_2	E_1	0	E_3	0	E_2	E_4	0
V_3	0	E_3	0	0	0	0	0
V_4	E_5	0	0	0	0	0	0
V_5	0	E_2	0	0	0	0	0
V_6	0	E_4	0	0	0	0	0
V_7	E_6	0	0	0	0	0	0

Кроме того, важным аспектом функционирования системы является окружение агентов – внешняя среда их взаимодействия. Данный компонент МАС является существенным, поскольку от него зависит результат взаимодействия агентов: агенты имеют сенсоры для восприятия окружающей среды и впоследствии формируют (либо изменяют) её при помощи эффекторов, а значит, важ-

ной задачей также является определение степени чувствительности агентов к изменениям информационной среды (и обратно). На данном этапе исследования внешняя среда функционирования агентов содержит только необходимые базы знаний и справочники, но предполагается, что её развитием выступит версия, содержащая некое подобие результатов деятельности СМИ, которые будут формировать сами агенты, тем самым, возникнет двусторонняя связь взаимодействия между агентами и внешней средой.

Результаты

На текущий момент получены следующие результаты:

а) поставлена задача опережающего выявления потенциальных проблем, возникающих при протекании процессов, сопряженных со строительством крупномасштабных инфраструктурных проектов;

б) проанализирована предметная область, в результате чего выявлены основные типы агентов (исходя из специфики решаемой задачи), их атрибуты и характер взаимодействия (в том числе, определена структура сообщений, которыми обмениваются агенты);

в) спроектирована топология взаимосвязей между агентами, данное представление описано в виде графа;

г) формально описаны основные значимые агенты мультиагентной системы, их дескриптивные характеристики, а также двусторонние динамические связи между ними, на основе чего построены базовые диаграммы, сопровождающие разработку программного инструментария, теоретической основой которого является данное исследование.

Заключение

На данном этапе исследования предложен прототип мультиагентной системы для моделирования процессов, сопряженных с реализацией транспортных мегапроектов на этапе их проектирования и реализации.

В перспективе стоит задача уточнения структуры агентов, алгоритмов их взаимодействия, топологии МАС, а также информационной среды, в которой проходит процесс имитации. Кроме того, особое внимание планируется уделить развитию информационной среды взаимодействия агентов, состава источников данных для среды, а также способов её изменения.

Помимо этого, на основе полученных результатов ведётся разработка методического подхода к построению мультиагентных систем применительно к данной предметной области.

Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект XI.174.1.3. «Методический подход к прогнозированию развития проблемных регионов Азиатской России на основе комплекса оптимизационных, имитационных и агентных пространственных моделей», № АААА-А17-117022250123-0.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Есикова Т.Н., Иванникова С.В. Общеэкономические и экологические аспекты оценки инфраструктурных мегапроектов с позиции потенциальных угроз безопасности страны (на примере ТКМ через Берингов пролив) // Стратегия устойчивого развития и экономической безопасности России: материалы XI Всерос. конф. преподавателей и науч. работников тех. вузов, посвящ. памяти проф. Р.М. Гусейнова / [отв. за вып. В.А. Семенихина, Л.Д. Бондаренко]; М-во обр. и науки РФ, Новосиб. гос. архитектурно-строит. ун-т (Сибстрин). - Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2017. - С. 260-271.
2. Есикова Т. Н. Подход к оценке влияния трансконтинентальной магистрали через Берингов пролив на трансформацию экономически активного пространства Азиатской России // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 148–152.
3. Вольхин Е. Г. Модели размещения распределительных центров // Управленец. - 2018. - Т. 9. - № 2. - С. 54–60.
4. Чертков А. А., Вардомская А. А., Дмитриев А. А. Рекурсивный метод оптимизации логистических путей средствами MatLab // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова – 2015 – Вып.6 (34). – С. 196-204.
5. Шабунин А. Б., Кузнецов Н. А., Скобелев П. О., Бабанин И. О., Кожевников С. С., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Разработка мультиагентной системы адаптивного управления ресурсами ОАО «РЖД» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. № 1. – С. 23–29.
6. Скобелев П. О., Майоров И. В. Мультиагентные технологии и самоорганизация сетей связанных расписаний для управления ресурсами в реальном времени // [Электронный ресурс]: Морские информационно-управляющие системы: электрон. научн. журн. 2015. №7. URL: http://www.kg.ru/wp-content/uploads/2016/02/31_ИУМорские-системы_№17_2015_-2.pdf
7. Шабунин А.Б., Чехов А.В., Скобелев П.О., Симонова Е.В., Царев А.В., Степанов М.Е., Курбатов Е.В., Сазуров С.В., Дмитриев Д.В. Сетецентрический подход к созданию мультиагентной системы для управления производственными процессами ОАО «РЖД». // Материалы Международной научно-практической мультиконференции «Управление большими системами-2011». 14–16 ноября.– М., 2011. – Т. 3. – С. 222-225.
8. Шабунин А.Б., Кузнецов Н.А., Скобелев П.О., Бабанин И.О., Кожевников С.С., Симонова Е.В., Степанов М.Е., Царев А.В. Разработка мультиагентной системы адаптивного управления ресурсами ОАО «РЖД» // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2012.
9. Пышный В. А. Моделирование загрузки транспортной сети / Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012 – Вып. 2 – с. 457–473.
10. А. В. Машнин, А В. Тимофеев. Разработка ИС построения оптимального плана перевозок продукта с минимизацией транспортных расходов на основе метода потенциалов / Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2016. – № 1 – с. 38-39.
11. Лычкина Н. Н. Информационные системы управления производственной компанией: учебник и практикум для академического бакалавриата. – Москва : Издательство Юрайт, 2018. – 241 с. – (Серия : Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-00764-0. – Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. – URL: <https://biblio-online.ru/bcode/413232> (дата обращения: 24.04.2019).
12. В.А. Виттих. Мультиагентные модели взаимодействий для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах / В. А. Виттих, П. О. Скобелев // Автоматика и телемеханика. – 2003. - №1. – С. 177-185.
13. G.Rzhevsky. Multi-agent systems in logistics and e-commerce, [Электронный ресурс]: URL: <https://blog.iteam.ru/multiagentnye-sistemy-v-logistike-i-e-kommertsii/#i-5>.

14. Rolf CR., Kuchcinski, K. «Distributed constraint programming with agents», in Proceedings of the second international conference on Adaptive and intelligent systems, Springer-Verlag, Berlin. – 2011. – P. 320–331.
15. Блинов С.В., Сердюк В.Е., Онищенко Г.В., Скобелев П.О., Ларюхин В.Б., Очков Д.С., Царев А.В., Томин В.А. Мультиагентная система управления мобильными бригадами для Средневолжской газовой компании // Труды XIV международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – Самара: СНЦ РАН, 2012. – С. 741–745.
16. Frank Didik. Proposal for a Trans Global Highway // [Электронный ресурс] URL: <http://www.transglobalhighway.com/>
17. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы // Новости искусств. интеллекта. – 1998. – №2. – С. 64–116.
18. Хорошевский В.Ф. Методы и средства проектирования и реализации мультиагентных систем // Матер. семинара «Проблемы искусственного интеллекта». – ИПУ РАН, 1999.
19. Маслобоев А.В. Мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности в регионе. Прикладные проблемы управления макросистемами. Труды Института системного анализа РАН, М., КомКнига УРСС, т.39, с.242-265, 2009.
20. Теряев Е.Д., Петрин К.В., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Агентные технологии в автоматизированных информационно-управляющих системах. Часть 1. Основы агентного подхода // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – №7. – С. 11–21.

© Т. Н. Есикова, С. В. Вахрушева, 2019