

РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ АППАРАТА МУЛЬТИАГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОТДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ СТРАНЫ)¹

Есикова Т.Н., Визир В.А.

ИЭОПП СО РАН, НГУ

Россия, г. Новосибирск пр. Академика Лаврентьева д.17

Россия, г. Новосибирск ул. Пирогова, 2

t.n.yesikova@gmail.com, v.vizir@g.nsu.ru

Аннотация: Работа посвящена разработке программного инструментария для оценки уровня транспортной дискриминации населения и улучшения транспортной доступности удаленных регионов страны. Предложена мультиагентная система для оценки последствий взаимодействия агентов разной природы при реализации транспортных проектов.

Ключевые слова: программный инструментарий, мультиагентные системы, транспортные системы, транспортные технологии, моделирование поведения, конфликты.

Введение

Актуальность данной работы обусловливается тем, наблюдается усиление роли и значения транспортной инфраструктуры для повышения продуктивности функционирования хозяйственного комплекса в текущих весьма сложных геополитических и геоэкономических условиях. В этих условиях транспортной системы России подвержена наиболее сильному давлению из-за внешнеэкономических и внешнеполитических факторов, которые имманентно ограничивают наш возможности из-за двадцатилетней ориентации на иностранные транспортные средства (особенно в авиации и не с немалым сроком эксплуатации).

Это обуславливает необходимость оценки различных вариантов обеспечения транспортной доступности с широкой ориентацией и задействования новых транспортных технологий и транспортных средств. В настоящее время особый интерес к определению векторов развития транспортно-логистической системы приобрел особое значение. С одной стороны, на протяжении нескольких десятилетий наблюдалось не столько ее развитие, сколько, в определенной степени, ее деградация. Это было обусловлено, как длительным ухудшением социально-экономической конъюнктуры в 90-е годы - отказ от субсидирования перевозок и рост транспортных тарифов привели не только к деградации локальных и региональных транспортных систем, но и к ухудшению качества транспортного сообщения между Сибирью и Дальним Востоком и остальной территорией страны.

Разрешение этих задачи (ослаблении транспортной дискриминации населения и повышения транспортной доступности) требует наличие специализированного инструментария, который позволял учитывать интересы отдельных агентов хозяйственной системы, а не только владельцев транспортных компаний и иже с ними.

1 Обзор технологий моделирования и пакетов, используемых для анализа транспортных систем

Транспортные задачи это одни из первых экономических задач, которые уже не одно десятилетие находятся в центре внимания многих исследователей. В интернет-пространстве можно найти массу приложений сайтов, позволяющий в удаленном режиме решить разные типы задач, связанные с покупкой билетов (железнодорожных, автомобильных, авиационных и др.), с поиском попутчиков, с приобретением широкого спектра транспортных средств и транспортных технологий и т.п. С другой стороны, недостаток специализированных программных средств для оценки и выявления потенциально узких мест в транспортной инфраструктуре и возможности их преодоления с учетом возможностей новых транспортных технологий и транспортных средств, анализом эффективности тех или иных технологий по сравнению с другими и т.п.

¹ Исследование при финансовой поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации №13.1902.21.0016

Широкое их использование затрудняется следующими моментами: являются коммерческими продуктами, высоким порогом вхождения; предназначены для моделирования и решения вопросов в узкоспециализированной области, либо не могут быть применены к целям конкретного исследования. Ибо существует потребность не оценки транспортной ситуации, не только с позиции достижения целей экономического развития регионов, но и с учетом интересов акторов разной природы, степени удовлетворенности сложившимися транспортными сетями и системами. Это системы, ориентированные на моделирование движения отдельных транспортных средств (автомобилей [5], воздушных судов и т. п.) или элементов транспортной инфраструктуры, функционирования отдельных участков дороги, в частности перекрестков [6, 7, 8, 9], работы светофоров и их систем в разных условиях [10]. Либо это моделирование самих механизмов движения транспортных потоков разных типов. Яркий пример это моделирующих перемещения спортсменов и зрителей на Олимпийских играх 2014 года в г. Сочи [14] при разных тестовых сценариях. Отдельное место занимают работы по моделированию и изучению потенциальных узких мест в крупных транспортных системах городов [15].

Для целей нашего исследования проанализированного аппарата явно недостаточно. Все вышеперечисленные модели, слабо адаптируемые к затрагиваемой проблеме транспортной дискриминации, поскольку кроме географического различия - регионы России находятся в более суровых климатических условиях (Якутия), либо в условиях рельефа местности, существует особенности, связанные со слабой, связанные со слабой применимостью личного транспорта для перемещения по транспортной сети. При этом имеется немало транспортных технологий, которые ориентированы на разрешение этих проблем, но до сих пор не задействованных в полной мере, нередко из-за конфликта интересов. И именно конфликт интересов часто не дает снизить уровень дискриминации населения удаленных регионов со сложными природно-климатическими условиями. Без использования инструментария, позволяющего моделировать поведение хозяйствующих субъектов самого разного уровня и типа сложно будет добиться снятия транспортного проклятия со страны. Наиболее полно этим целям отвечает аппарата мультиагентного моделирования.

О значимости этой проблемы можно судить по достаточно развитому инструментарию, ориентированный на проработку вопросов транспортного развития с разных точек зрения, в частности такие продукты, как: CUBE (Великобритания), PARAMICS (Великобритания), TransCAD (США), программный комплекс «Дорожный менеджер», ПКМ МАДИ (все Россия), TRIPS (Великобритания). Имеются довольно интересные и мультиагентные постановки, среди которых выделим следующие программные продукты: PT Vissim/PT Visum, AnyLogic, TRAN-SIMS и др., которые позволяют более подробно учитывать разные целевые устремления отдельных участников транспортного процесса и др.

Однако этот инструментарий сложно использовать для целей нашего исследования и не только по финансово-стоимостным аспектам, ибо подавляющее большинство это либо коммерческие продукты, либо характеризуются высоким порогом вхождения, либо ориентированы на моделирование в узкоспециализированных областях, либо не являются мультиагентными. Отсутствие мультиагентности затрудняет учет разнонаправленных интересов конкретных хозяйствующих субъектов и других участников этих процессов. С учетом вышесказанного требуется инструментарий, который позволяет оценить ситуацию не только а) с позиции достижения целей экономического развития регионов, но и б) с учетом интересов акторов разной природы.

Возможности преодоления транспортной дискриминации населения разных регионов страны с позиции получения их доступа к культурным, историческим, туристическим и другим центрам это одна из актуальных задач. Наиболее остро эта проблема стоит в удаленных регионах страны (в частности, для большинства территорий регионов Дальнего Востока и Сибири).

2 Мультиагентная система

Транспортное имитационное моделирование является довольно широко используемым инструментариумом для исследования транспортных проблем как на страновом, так и межстрановом уровне. Можно выделить несколько наиболее востребованных направлений исследований.

Первое: моделирование движения отдельных транспортных средств, с позиции совершенствования существующих и формируемых транспортных сетей. В этом случае объекты могут моделироваться либо очень детально, либо на макроскопическом уровне (специальные транспортные модели, которые ориентированы на изучение их микро- и мезоскопического их поведения в разных ситуациях). Второе: анализ и моделирование поведения и движений транспортных потоков разного уровня иерархии в пределах той или иной территориальных

транспортной системы разного уровня иерархии (городской, межгородской, районной, макрорегиональной системах и др.).

Для целей нашего исследования проанализированного аппарата явно недостаточно. Все вышеперечисленные модели, слабо адаптируемые к затрагиваемой проблеме транспортной дискриминации, поскольку кроме географического различия – регионы России находятся в более суровых климатических условиях (Якутия), либо в условиях рельефа местности, существует особенности, связанные со слабой применимостью личного транспорта для перемещения по транспортной сети. Учитывая описанные условия существования агентов, доступных им способов перемещения, смоделируем их поведение в окружающей среде и исследуем загруженность сети.

Моделирование будет выполняться с использованием мультиагентных технологий и фреймворка MATSIM.

Описание модели данных является важнейшим этапом в процессе моделирования. На данном этапе нужно представить объекты и субъекты реального мира в некоторой виртуальной идеальной абстракции. При этом необходимо учитывать особенности экономико-транспортных процессов, а также возможность дальнейшего развития и адаптации модели под более специфические задачи моделирования, с добавлением иных аспектов. В целом, можно предложить следующие этапы при построении математической модели: 1) выделение основных сущностей и агентов (участников экономического процессов) и определение их основных целей в рамках моделируемого процесса; 2) формализация алгоритмов и механизмов взаимодействия между сущностями и агентами системы; 3) формирование последовательности процесса моделирования.

Рассмотрим модель окружающей среды. Пусть $REGIONS$ – множество исследуемых регионов. R – абстрактный регион России, выбранный исследователем для оценки для уровня его транспортной доступности или транспортной дискриминации его населения. $R = R_i \in REGIONS, i \in (1, 2, \dots, d)$, где $d = |REGIONS|$ – количество регионов, выбранных для анализа.

Агенты “Пассажир”

Целью j -го агента типа “пассажир” является достижение точки назначения посредством перемещения в виртуальной среде доступными способами. Агент стремится достичь точки назначения в обозначенный срок. При этом старается оптимизировать денежные, временные затраты, расстояние. Данные агенты имеют следующие атрибуты: $place_{start_j}$ – место отправления – место, из которого агент начинает свое перемещение; $place_{end_j}$ – место прибытия (цель агента); $time_{start_j}$ – время отправления (начала цикла моделирования для агента); $time_{end_j}$ – время, к которому агент стремится закончить свои действия; $budget_j$ – количество средств, доступных агенту для оплаты перемещения по сети. Агент может выходить за рамки бюджета, но такое поведение будет наказываться; $P_j = \{P_1, \dots, P_2\}$ – множество планов агента; $RP_j = \{RP_1, \dots, RP_n\}$ – множество функций $RP: P \rightarrow P$ изменения планов “пассажира”. $W_j = \{W_1, \dots, W_m\}$ – множество функций $W: P \times Actions \rightarrow cost$, где $cost$ – численная характеристика. Функции оценки успешности выполненного плана;

Сформулируем задачи, которую решают агенты разного типа.

агента-пассажира: нахождения такого плана, который отвечает его интересам с разных критерием. $P_k : W(P_k) > W(P_c) \forall P_c \in P \cap P_k$;

агенты водитель: достижение пункта назначения в установленный срок, посредством перемещения по виртуальной сети определенным способом. Агент стремится не отходить от установленного расписания. А также использовать все доступные возможности транспортного средства, которым управляет.

- $route_j \in L$ – список населенных пунктов (остановок), через которые агент строит свой путь,
- $schedule_j \in SCHEDULE$ – список времени прибытия и отбытия на/с остановки маршрута,
- $transport_j \in TR$ – единица транспортного средства, управляемого агентом “Водитель”.

Особое место занимает группа узкоспециализированных агентов, которые отвечают на поддержания работоспособности системы в целом. Сюда отнесем таких агентов как: агент доступа к базе данных (структурированным данным окружающей среды) – отвечает за обработку запросов информации об окружающей среде; агент управления очередями сообщения (взаимодействием агентов между друг другом) – отвечает за обмен сообщениями между агентами; агент подготовки данных для моделирования – отвечает за создание и настройку виртуальной среды и агентов; агент анализа результатов моделирования – отвечает за анализ накопленной статистики моделирования.

Ориентированный граф $G(V_R, E_R)$ описывает транспортно-логистическую сеть региона R , где

- V_R – множество транспортно-логистических узлов R ;

- E_R – множество направленных ребер, $e \in E_R = (v_i, v_j), (v_i, v_j) \neq (v_j, v_i)$.
- TR – множество транспортных средств. $tr \in TR$ – единица транспортного средства.

Для каждого элемента этого множества определим набор функций – характеристики транспортного средства: $passenger_capacity(tr)$ – пассажировместимость, $fare(tr)$ – стоимость проезда, $cost_of_transportation(tr)$ – стоимость перевозки, $delay_time(tr)$ – время задержки, $environment(tr)$ – среда перемещения, $max_speed(tr)$ – максимальная скорость, $cost(tr)$ – стоимость закупки, $is_actual(tr)$ – признак того, что ТС используется в данный момент.

Для формализации потенциально возможных вариантов перемещения транспорта по графу транспортных путей введем понятие «путь следования» через следующий кортеж $(v_1, e_1, \dots, e_k, v_m) = l \in L, v \in V, e \in E$. Это позволяет представить расписание через последовательность кортежей вида $((t_{arrival_1}, t_{departure_1}, v_1), \dots, (t_{arrival_e}, t_{departure_e}, v_e)) \in SCHEDULE = T^2 \times V$, где $t_{arrival_j}$ – время прибытия в пункт $v_j \in V$, $t_{departure_j}$ – время отправления из пункта $v_j \in V, j \in (1 \dots e)$, e – количество транспортно-логистических узлов в маршруте.

Окружающая среда и информационные потоки участвующие в формировании окружающей среды: I_{tr} – массив доступных транспортных средств (ТС); $I_{schedule}$ – расписание движения транспортных средств разного типа – реальные, либо моделируемые данные о времени прибытия и отправления ТС. Задаются исследователем; I_v – информационный поток о транспортных узлах.

На данном этапе исследований проведены экспериментальные расчеты, которые в целом показали правомерность принятых посылок и ограничений.

Заключение

Данное направление исследований представляется перспективным, ибо недоучет задач, целей, возможностей отдельных агентов хозяйствующей системы может привести к неприятным последствиям, что и показал опыт СССР. В дальнейшем целесообразно расширение инструментария посредством реализации новых методов; использование новых типов спутниковых и научных данных.

Литература

1. *Малыханов А. А.* Имитационная модель агента для низкоуровневого исследования транспортных систем: специальность 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Малыханов Андрей Анатольевич ; Ульяновский государственный университет . — Ульяновск, 2011. — 24 с.
2. Программа для моделирования «AIMSUN» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.aimsun.com/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
2. Программа для моделирования «TRANSNET» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.transnet.net/Pages/Home.aspx>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
3. Программа для моделирования «CUBE Land» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/mobility-simulation-and-analytics/cube-cargo>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
4. Программа для моделирования «PARAMICS» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.paramics.co.uk/en/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
5. Программа для моделирования «TransCAD» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.caliper.com/tcovu.htm>. [Дата обращения: 24 Февраля 2022].
6. Программа для моделирования «SATURN» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://saturnsoftware2.co.uk/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
7. Программа для моделирования «PT Vissim» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-visum/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
8. Программа для моделирования «AnyLogic» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
9. Программа для моделирования «TRANSIMS» [Интернет-ресурс]. Режим доступа: <https://code.google.com/archive/p/transims/>. [Дата обращения: 5 Мая 2022].
11. *Grether D.* Agent-based Modelling and Simulation of Air Transport Technology / D. Grether, S. Furbas, K. Nagel // *Procedia Computer Science*. — 2013. — № 19. — С.821-828.