

УДК 681.3

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВАТС ДЛЯ М-11 «НЕВА»

Г.М. Капитонова

*Казанский (Приволжский) федеральный университет
Набережночелнинский институт (филиал)
Передовая инженерная школа «Кибер Авто Тех»*
Россия, Республика Татарстан, 423800, Набережные Челны, проспект Мира, 13 Б
E-mail: KapitonovaGM@kamaz.ru

И.Ф. Юнусов

*Публичное акционерное общество «КАМАЗ»
Научно-технический центр*
Россия, Республика Татарстан, 423800, Набережные Челны, проспект КАМАЗа, 1
E-mail: YunusovIF@kamaz.ru

Ю.Н. Журавель

Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Россия, 443001, Самара, Студенческий переулок, 3А
E-mail: julita.zh@gmail.com

Ключевые слова: интеллектуальная система управления ресурсами, высокоавтоматизированное транспортное средство, логистические перевозки, адаптивное планирование, мультиагентные технологии, онтология, веб-система.

Аннотация: Рассматривается задача планирования высокоавтоматизированных (беспилотных) транспортных средств в рамках стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года для осуществления коммерческих грузоперевозок в рамках транспортных коридоров. Для рационального использования ресурсов и своевременного выполнения заказов потребителей предлагается создание «интеллектуальной диспетчерской», решающей задачу высокоэффективного управления логистикой на базе онтологий и мультиагентных технологий. Изложены основные принципы построения плана перевозок и его адаптивного перепланирования. Представлены результаты разработки альфа-версии системы для управления указанными беспилотными грузовиками.

1. Введение

Одной из задач стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года [1] является цифровизация грузовых перевозок.

В настоящее время в транспортной отрасли начинают работать платформы-агрегаторы, цифровые каналы взаимодействия с потребителями, внедряются системы интернета вещей, обработки больших объёмов данных и искусственного интеллекта.

В июне 2023 года в рамках проекта «Беспилотные логистические коридоры», начат эксперимент по использованию высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС) на магистрали М-11 «Нева». В отличие от мирового опыта особенностью российского проекта является комплексный подход: одновременно рассматриваются правовые и экономические аспекты, развиваются технологии проектирования и производства грузовых автомобилей, учитываются потребности коммерческих перевозчиков, осуществляется создание цифрового двойника дорожной

инфраструктуры магистрали, включающего сервисную V2X-платформу и цифровую карту.

К середине ноября 2023 года ВАТС проехали уже 560 тыс. км между Москвой и Санкт-Петербургом и перевезли свыше 10 тыс. тонн грузов, что позволило на практике оценить устойчивость бизнес-модели таких перевозок, а также их перспективы с точки зрения экономики, включая сроки и стоимость доставки [2].

В связи с ростом числа заказов и высокой стоимостью ВАТС актуальной является задача эффективного управления логистикой перевозок, решить которую можно за счёт создания «интеллектуальной диспетчерской», автоматизирующей процессы принятия решений и обеспечивающей доставку заказов точно в срок, несмотря на непредвиденные события, с минимальными простоями и ожиданиями.

2. Постановка задачи

Основными задачами интеллектуальной системы управления высокоавтоматизированными транспортными средствами (ИСУ ВАТС) являются:

- прием заказов на перевозку грузов от потребителей;
- подбор ВАТС для каждого заказа с учетом их особенностей и поддержание работы группировки ВАТС;
- построение планов движения ВАТС с учетом требований заявок потребителей, технологических процессов и цифровой карты;
- адаптивное изменение решения по использованию конкретного ВАТС до момента его отправки по мере поступления новых заказов, а также при возникновении различных непредвиденных событий;
- мониторинг и контроль исполнения построенных планов движения ВАТС по каждому заказу;
- анализ накопленной статистики по заказам и формирование отчетов по работе ВАТС по исполнению заявок (общий объем выполненных заказов каждым ВАТС, число успешно выполненных и нарушенных по срокам доставки заказов и т.п.).

В качестве исходных данных для планирования работы ВАТС, формирующих основу онтологической модели транспортного коридора, выступают:

- граф сети (расположение отправных и конечных точек доставки грузов, мест заправок);
- множество меток времени, определяющих горизонт планирования;
- ряд заказчиков, которые отправляют грузы различных типов (заказы) на перевозку по трассе М-11 «Нева» в заранее неизвестные моменты времени;
- множество заказов, отправляемых заказчиками;
- парк ВАТС, участвующих в перевозке различных грузов;
- технологический процесс выполнения заказов, который включает операции (техосмотр ВАТС, заправка, сцепка, движение и другие) с учётом ограничений по поддержанию заданного запаса топлива, разрешенному скоростному режиму, тарифу на перевозку и ее себестоимости.

В качестве событий, влияющих на точность выполнения плана и вызывающих перепланирование выступают поступление нового заказа в систему и его отмена, поломка ВАТС или задержка выполнения операции в связи с обстановкой на трассе.

Предполагается интеграция с цифровой картой коридора «Нева», чтобы получать информацию о ремонтах дороги, инцидентах, связанных с перекрытием пути в полосе, появлением непредвиденных препятствий на дороге и т.д.

3. Предлагаемый подход к решению задачи

ИСУ ВАТС реализуется в виде совокупности веб-систем, построенных на основе микросервисной архитектуры [3, 4]:

- веб-система «Хранение и передача данных»;
- веб-система «Диспетчер»;
- веб-система «Мониторинг ВАТС».

Веб-система «Хранение и передача данных» предназначена для ввода заявок, согласования планов, контроля их исполнения и оповещения заказчика о ходе исполнения перевозки.

Веб-система «Диспетчер» обеспечивает выполнение процессов интеллектуального планирования, мониторинга и контроля исполнения заявок с учётом текущего состояния всего парка ВАТС, а также адаптивного перестроения планов в случае возникновения нештатных ситуаций.

Веб-система «Мониторинг ВАТС» предназначена для визуализации построенных планов, подтверждения выполнения операций технологического процесса и ввода непредвиденных событий, требующих пересмотра плана.

В состав веб-системы «Диспетчер» входят:

- интеллектуальная система управления знаниями, содержащая онтологию предметной области (прикладную онтологию) и онтологическую модель логистической сети трассы М-11 «Нева» и парка ВАТС;
- специализированная онтологически-настраиваемая мультиагентная система планирования заказов и ресурсов ВАТС, в состав которой входят:
 - а) мир агентов, включающий диспетчер агентов заказов и агентов ресурсов, а также агента системы в целом, реализующих логику планирования на основе своих целевых функций;
 - б) сцену мира трассы М-11 «Нева» – внутреннюю структуру данных, отражающих состояние объектов трассы М-11 «Нева» и формируемый план работы ВАТС по заказам;
 - в) другие прикладные модули для хранения данных и интеграции с внешними системами.

В качестве базовой онтологии ИСУ ВАТС была разработана онтология планирования, состоящая из наиболее общих и повторно используемых концепций (таких как заказ, задача, ресурс, и т.д.).

Базовая онтология планирования позволяет «объяснить» системе планирования, как работать с прикладной предметной областью, связывая ее понятия и отношения с уже известными понятиями и отношениями, встроенными в ее программный код.

На основе базовой онтологии была разработана прикладная онтология ИСУ ВАТС, которая содержит классы понятий и отношений, специфических для многих логистической компании, таких как, процесс, операция, подразделение, сотрудник, квалификация, компетенция, оснащение, тип груза, тип транспортного средства, местоположение. Кроме того, в прикладную онтологию ИСУ ВАТС включены специфичные для конкретного применения понятия «вершина графа», «ребро графа», с помощью которых описывается маршрут ВАТС в логистической сети.

Создаваемые и активируемые системой агенты заказов и ресурсов используют свое онтологическое описание, которое определяет их поведение в ходе планирования.

Построение плана движения ВАТС по заказам разделено на два основных этапа:

- построение опорного плана движения ВАТС по заданному маршруту для каждого заказа с учетом мест сцепки и расцепки с полуприцепом заказчика;

- динамическое добавление в план движения ВАТС промежуточных точек, связанных с заправками.

Предлагаемая система ИСУ ВАТС базируется на разработанной отечественной методологии и технологии управления производственными ресурсами в режиме реального времени [5-7].

Целевой функцией ИСУ ВАТС является прибыль от перевозок, которая рассчитывается как сумма прибыли всех запланированных и исполненных заказов на перевозку грузов.

В разработанном подходе планирование ресурсов осуществляется путем конкуренции и кооперации в сети программных агентов потребностей и возможностей (ПВ-сети), которые договариваются на виртуальном рынке системы.

Критериями агента заказа при переговорах являются:

- качество перевозки (в частности, выбор ВАТС, способного обеспечить требования к температурному режиму перевозки);
- выполнение перевозки в заданный срок;
- выполнение перевозки с минимальными затратами и максимальной прибылью (нужный ВАТС и минимальный холостой пробег);
- обеспечение минимального риска (требуемый буфер времени относительно других заказов).

Критериями агента ВАТС при переговорах являются:

- максимальная загрузка;
- качество перевозки и другие вышеперечисленные критерии.

Каждое возникающее в системе событие запускает новые цепочки переговоров агентов, связанные с выявлением конфликтов и их разрешением путем взаимных уступок, которые завершаются установлением нового неухудшаемого «конкурентного равновесия», которое и является новым наилучшим планом в текущей ситуации. Таким образом, план всегда открыт к любым изменениям по незапланированным событиям и может гибко и быстро перестраиваться в автоматическом режиме.

Веб-системы осуществляют взаимодействие с информационными системами Единого заказчика, Оператора инфраструктуры, Оператора перевозки (ВАТС).

Пользователем веб-систем «Хранение и передача данных» и «Диспетчер» является персонал Единого заказчика.

В информационную систему Оператора инфраструктуры передаётся план движения ВАТС при выполнении грузоперевозки. От Оператора инфраструктуры поступают события о ситуации на трассе.

Персонал Оператора перевозки является пользователем веб-системы «Мониторинг ВАТС». Из информационной системы Оператора перевозки по согласованным протоколам в ИСУ ВАТС поступают данные о составе группировки, состоянии и местоположении ВАТС. Оператор перевозки получает план выполнения перевозки и делает в нём отметки о поэтапном выполнении, в результате чего запускается адаптивное перепланирование.

4. Экспериментальная отработка ИСУ ВАТС

В процессе испытаний ИСУ ВАТС в систему вводились заказы на перевозку грузов с указанием желаемых дат и времени отправки и доставки груза, названием пунктов забора и доставки груза, типа груза и сопроводительной информацией о грузоотправителе и грузополучателе. Созданные заказы передавались на планирование, с заказчиком согласовывались запланированные сроки перевозки, планы передавались

на исполнение.

Параметры заказа задавались с таким расчетом, чтобы гарантировать построение плана или вызывать необходимость перепланирования ранее построенных планов.

Были проведены проверки функциональности в части адаптивного перепланирования заявок между ВАТС с учетом требований заявок потребителей, в виде нагрузочного тестирования при планировании заказов на перевозку из Москвы в Санкт-Петербург и из Санкт-Петербурга в Москву, в части возможности планирования заказов при условии, что количество заказов превышает количество ВАТС. Система успешно обрабатывала поступающие заказы при наличии доступных ресурсов, а в случае отсутствия таковых выдавалось сообщение «не обеспечен», требуя подключение диспетчеров. В остальном, процесс может быть полностью автоматическим, т.е., по сути, создана автономная «умная диспетчерская», работающая по событиям. По мере выполнения процесса модельной доставки груза заказы перемещались в папку «Доставлены» с указанием времени отставания/опережения доставки для дальнейшего возможного аудита любого дня работы группировки ВАТС с точностью до события.

5. Заключение

Успешные испытания альфа-версии ИСУ ВАТС показали возможность эффективного использования дорогостоящих беспилотных грузовиков для междугородних перевозок на протяжённых маршрутах, без заезда в города и на склады, в режиме 24/7, за счёт автоматизации процессов планирования выполнения заказов на основе современных методов и средств искусственного интеллекта, включая онтологии и мультиагентные технологии. Предоставление оператору-перевозчику возможности оперативно редактировать онтологические модели с учётом изменений в используемых ресурсах избавляет от необходимости дополнительно перепрограммировать мультиагентную систему планирования в случае изменения состава технологического процесса, мест остановок или добавления новых видов ресурсов.

Тем самым упрощается запуск беспилотных грузоперевозок к 2030 году на новых федеральных трассах.

Список литературы

1. <https://mintrans.gov.ru/documents/2/12953> (дата обращения 24.01.2024).
2. <https://tass.ru/ekonomika/19298515> (дата обращения 24.01.2024).
3. Ньюмен С. Создание микросервисов. С.Пб.: Питер, 2016. 304 с.
4. Martin L. Abbott, Michael T. Fisher Scalability Rules: Principles for Scaling Web Sites / 2nd Edition. Addison-Wesley Professional, 2016. 256 p.
5. Грачев С.П., Жилиев А.А., Ларюхин В.Б., Новичков Д.Е., Галузин В.А., Симонова Е.В., Майоров И.В., Скобелев П.О. Методы и средства построения интеллектуальных систем для решения сложных задач адаптивного управления ресурсами в реальном времени // Автоматика и телемеханика. 2021. № 11. С. 30-67.
6. Rzevski G., Skobelev P, Zhilyaev A. Emergent Intelligence in Smart Ecosystems: Conflicts Resolution by Reaching Consensus in Resource Management // Mathematics. 2022. Vol. 10, No. 11. P. 1923. <https://doi.org/10.3390/math10111923> (дата обращения 24.01.2024).
7. Galuzin V., Galitskaya A., Grachev S., Laruchkin V., Novichkov D., Skobelev P., Zhilyaev A. The Autonomous Digital Twin of Enterprise: Method and Toolset for Knowledge-Based Multi-Agent Adaptive Management of Tasks and Resources in Real Time // Mathematics. 2022. Vol. 10, No. 10. P. 1662. <https://doi.org/10.3390/math10101662> (дата обращения 24.01.2024).