

Концепция интеллектуальной транспортной системы для автономных транспортных средств на основе многоагентного подхода

Суворов С.В., кандидат экономических наук, доцент кафедры «Прикладная информатика», Московский Политехнический университет, Москва, Россия

Осипов А.В., кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Прикладная информатика», Московский Политехнический университет, Москва, Россия

Жиляева И.А., кандидат экономических наук, доцент кафедры «Прикладная информатика», Московский Политехнический университет, Москва, Россия

Аннотация. В данной статье исследуется проблема оптимизации проезда перекрестка в условиях городской среды. Предлагается концепция интеллектуальной транспортной системы города в условиях наличия автопилотируемых транспортных средств, основанная на многоагентном подходе. Каждый автомобиль рассматривается как автономное транспортное средство, взаимодействующее со своим окружением. Авторами предложен метод «ближайших соседей». С помощью протокола V2V (автомобиль - автомобиль) устанавливается связь между транспортными средствами, конфликтующими за проезд. Предложены правила установления приоритетов для устранения этого конфликта. При большой загруженности дорог для разрешения конфликтных ситуаций предлагается использовать «устройство-регулирующий». Оно управляет передвижением транспортных средств в пределах выделенного радиуса. Отпадает необходимость использовать на перекрестке светофор.

Ключевые слова: многоагентная система, умный город, автономное транспортное средство, транспортная система.

The concept of the intellectual transport system for autonomous vehicles on the basis of a multiagent approach

Suvorov S.V., candidate of economic sciences, Associate Professor of the «Applied Informatics» Department at the Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Osipov A.V., candidate of physico-mathematical sciences, Associate Professor of the «Applied Informatics» Department at the Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Zhilyaeva I.A., candidate of economic sciences, Associate Professor of the «Applied Informatics» Department at the Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

Annotation. This article explores the problem of optimizing the intersection to the cities. The concept of the city's intelligent transport system in the presence of autopilot vehicles based on a multi-agent approach is proposed. Each car is considered as an autonomous vehicle interacting with its surroundings. The authors proposed the method of «nearest neighbors». Using the V2V protocol (car - car), a connection is established between the vehicles that are in conflict with the passage. Proposed priority setting rules for resolving this conflict. With a heavy traffic load, it is proposed to use a «device regulator» to resolve conflicts. It controls the movement of vehicles within the allocated radius. There is no need to use traffic lights at the intersection.

Keywords: multi-agent systems, smart city, autonomous vehicle, transport system.

Введение

Расход топлива для транспортных средств (далее – ТС) в городских условиях и вне города отличается на 10 – 20% [1]. Это связано с тем, что двигатели машин работают в неоптимальных, постоянно меняющихся режимах и при остановке на светофорах не глушатся. Влияет на расход топлива и стояние в пробках. С учетом того, что каждый год количество транспортных

средств (далее - ТС) неуклонно растет, ситуация только усугубляется. В первую очередь от этого страдают мегаполисы, которые являются экономическими центрами, куда переселяются граждане из менее развитых регионов [2].

Дорожная сеть мегаполисов не справляется с постоянно увеличивающимся трафиком. Одной из основных проблем развития дорожной сети является стихийная застройка городов, сформировавшаяся исторически. Для решения этой проблемы на данный момент разработан целый ряд адаптивных систем управления транспортом [3]. Технологический прогресс не стоит на месте [10] , и с недавних пор на дорогах появились автономные транспортные средства. Они открывают новые возможности для модернизации дорожной сети, ее автоматизации и оптимизации [4,5], позволяют повысить безопасность и энергоэффективность поездок. Пока это единичные варианты, они обязаны вести себя, как обычные транспортные средства. Но их количество будет неуклонно расти и станет вопрос о переосмыслении, казалось, незыблемых правил дорожного движения, дорожных знаков и дорожной разметки. Вместо всего этого на дороге должна быть развернута интеллектуальная система (ИТС), использующая инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, предоставляющая конечным потребителям большую информативность и безопасность, а также качественно повышающая уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами [6].

Оптимизации дорожного движения посвящена работа [7]. Автор предлагает концепцию адаптивного регулирования светофора в режиме реального времени, обладающую большим потенциалом для решения проблем с заторами. Действительно, одним из недостатков светофора является его «слепое» управление, не учитывающее влияние внешней среды. В результате по некоторым направлениям образуется затор, в то время как по другим направлениям возможна пустая очередь при зеленом сигнале.

Авторами статьи [8] был разработан метод конфликтных зон прогнозирования аварийных ситуаций, был исследован порог чувствительности потенциальной опасности отдельных конфликтов.

С помощью теории графов авторами статьи [9] предложено моделировать перекресток с учетом взаимодействующих на нем транспортных потоков, конфликтующих между собой (создается граф пересечений). Это позволяет описать структурное взаимодействие в конфликтной зоне, разделить участников движения, указать все возможные группировки бесконфликтных автотранспортных средств. С учетом специфики взаимодействия транспортных средств авторы предлагают оценивать потенциальную опасность того или иного перекрестка и режимы работы светофора.

Все перечисленные выше статьи рассматривают перекресток как источник потенциальной опасности, и выводы сводятся к установлению фаз светофора. Это означает, что часть машин все равно будет вынуждена остановиться и ждать разрешения на движение. В случае с автономными агентами понятие «регулируемый перекресток» меняет свой смысл.

Разработанные в последнее время прикладные протоколы передачи данных V2V (автомобиль - автомобиль) и V2I (автомобиль – придорожная инфраструктура), позволяют осуществлять обмен данными между автомобилями и инфраструктурой улично-дорожной сети [12]. Это дает возможность уже в ближайшее время разработать ИТС нового поколения. Источниками данных выступают автомобили и инфраструктура дорожной сети. Каждый автомобиль передает следующую информацию о себе: скорость движения ТС (используется для прогнозирования дорожной ситуации); время разгона автомобиля (способность развивать определенную скорость за установленный период времени); идентификатор занимаемой полосы (позволяет привязать ТС к полосе); класс авто(исходя из ширины, длины и массы, позволяет спрогнозировать время выполнения маневра); принадлежность к общественному транспорту или экстренным службам; направление движения ТС.

Придорожная инфраструктура также претерпит изменения. Уже сейчас на большинстве магистралей установлены видеокамеры, позволяющие передавать огромное количество данных для анализа. Вот лишь некоторые из них: интенсивность движения по определенной полосе за определенный период времени; плотность движения по определенной полосе; средняя скорость потока; доступные направления для движения по данной полосе; тип перекрестка, заранее описанный в модели; доступность полосы (наличие ям, гололеда, ремонтных работ); принадлежность полосы к выделенной общественному транспорту или экстренным службам.

Авторы считают, что целесообразно рассмотреть два возможных варианта работы ИТС. Первый вариант целесообразно использовать на дорогах со средней или низкой загруженностью.

В этом варианте нет смысла использовать «устройство-регулирующий» (устройства внешнего регулирования транспортных потоков). Автономный агент на основании данных, полученных от других автономных агентов, сам принимает конечное решение о дальнейшем поведении. Оно основывается на решении локальной задачи с участием N автомобилей (соседей), двигающихся в K ($1 \leq K \leq N$) потоках.

Правило соблюдения дистанции до впереди идущего транспортного средства позволяет существенно сократить количество принимаемых во внимание соседей, и, например, рассматривать автомобиль, двигающийся сзади, только в том случае, если он совершает маневр по обгону. Ближайшими соседями будут считаться машины в соседних полосах при условии, что маневр на эти или с этих полос разрешен, или машины идут по полосам, пересекающимся с полосой рассматриваемой машины. Расстояние, в пределах которого берутся соседи, является функцией от максимальной скорости движения потока и характеристик дорожного покрытия.

С помощью программы имитационного моделирования AnyLogic было установлено, что для двухполосного перекрестка в условиях средней загруженности дороги число машин, влияющих на движение в любой момент

времени, не превышает 20, что позволяет автономному средству принимать решения в режиме реального времени.

В совокупности все агенты образуют многоагентную систему (МАС), функционирующую подобно живому организму. Действия одной машины по перестройке в другую полосу, остановке и т.д. вызывают цепную реакцию у ее ближайших соседей. Для того чтобы упорядочить этот процесс между ближайшими соседями, устанавливается связь, позволяющая при «конфликте интересов» выбрать машину, двигающуюся в приоритете. Это, прежде всего машины специальных служб, автобусы и т.п. При прочих равных условиях моделирование процесса в программе AnyLogic выявило, что в большей части случаев выгоднее дать приоритет машине с меньшим количеством ближайших соседей. При этом интенсивность общего движения увеличивается.

Второй вариант работы ИТС целесообразно использовать на дорогах с высокой загруженностью.

На перекрестках устанавливается сеть регулирующих движение устройств (РУ), связанных с центральным вычислительным центром (ВЦ). Они в режиме реального времени передают в ВЦ данные о ситуации на дороге и принимают от него команды по регулированию потоков транспортных средств. Для параллельного прогнозирования была использована пространственно-временная взвешенная модель К-ближайших соседей (STW-KNN) [12], суть которого сводится к четырем этапам обработки данных.

На первом этапе каждое РУ формирует и передает в ВЦ текущий кортеж состояния транспортного потока. Количество параметров может варьироваться. В ВЦ к этим данным добавляются ретроспективные данные для установления тренда.

На втором этапе ВЦ вычисляет меру близости между кортежами

$$d_i(x, y) = \alpha \sqrt{\sum_{t=1}^T \beta^{T-t+1} (x_t - y_t^i)^2} + (1-\alpha) \sqrt{\sum_{t=2}^T \sum_{\delta=1}^{t-1} [(x_t - x_\delta) - (y_t^i - y_\delta^i)]^2},$$

$0 \leq \alpha \leq 1, 0 < \beta < 1$; $T \in \mathbb{N}$ – общее количество непрерывных временных интервалов, за которые берутся данные; N – количество элементов в этом кортеже, $d_i(x, y)$ – мера расстояния между текущими данными и ретроспективными; x_t – значения кортежа признаков, описывающего текущие значения транспортного потока на заданном дорожном сегменте за временной интервал t ; i – порядковый номер исторических значений транспортного потока; y_t^i – значение кортежа признака, описывающего исторические данные за интервал времени t .

Мера близости была дополнена функцией корректировки тренда для более точного прогнозирования.

Коэффициент α позволяет регулировать значимость тренда при прогнозировании, а коэффициент β позволяет настраивать чувствительность метода к предыдущим сегментам дороги. Чем больше β , тем слабее действует на текущую ситуацию более отдаленный сегмент дороги.

На 3 этапе вычисляется функция прогноза, основанная на взвешенной функции меры близости и тренде прогноза.

$$\hat{X}_{T+1} = \gamma \frac{\sum_{k=1}^K d_k^{-1} X_{T+1}^k}{\sum_{k=1}^K d_k^{-1}} + (1-\gamma) \left[X_T + \frac{1}{KT} \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (X_{T+1}^k - X_t^k) \right],$$

где $0 \leq \gamma \leq 1$, K – количество ближайших соседей, d_k – расстояние между текущим кортежем признаков и кортежем k -ближайшего соседа; X_T – значения кортежа признаков транспортного потока в текущий момент времени за интервал T ; \hat{X}_{T+1} – предсказанный кортеж признаков на следующий интервал времени $T+1$; X_{T+1}^k – кортеж признаков транспортного потока k -ближайшего соседа, найденные по ретроспективным данным в соответствии с временным интервалом.

На заключительном, 4 этапе выбирается число K – ближайших соседей. Оно представляет собой количество исторических данных, которое будет учитываться при прогнозе.

Представленный алгоритм был реализован авторами статьи на основе парадигмы распределенных вычислений с помощью фреймворка Apache Spark. Что позволило значительно сократить время вычислений и добиться задержки между получением данных и составлением прогноза не более 10 секунд (для апробации была взята инфраструктура города Иваново численностью населения порядка 400 тыс. человек). Это позволяет практически в режиме реального времени прогнозировать ситуацию на дорогах.

Уже сейчас можно использовать разработанный алгоритм, например, для «умного» переключения светофоров. Если же говорить про автопилотируемые средства, авторы предлагают следующую модель их поведения:

При приближении к перекрестку транспортное средство попадает в область действия РУ. Данные по нему фиксируются и передаются в ВЦ, на основании которых, он формирует прогноз ситуации на дорогах. С учетом текущего положения и места прибытия ВЦ определяет поведение каждого транспортного средства на текущем перекрестке. Инструкции ВЦ передаются РУ, которое передает их всем транспортным средствам, находящимся в его области действия.

Вывод. При тотальной загрузке магистралей города современная инфраструктура дорог не справляется с потоком машин. В рамках данной статьи была рассмотрена концепция построения интеллектуальной транспортной системы на основе многоагентного подхода в условиях перехода к автопилотируемым транспортным средствам. На данный момент уже имеются первые разработки в этой сфере: активно ведется работа по усовершенствованию автопилотируемых транспортных средств, разрабатываются протоколы взаимодействия V2X и высокоскоростной передачи данных 5G. С использованием современных возможностей нами был предложен способ увеличения пропускной способности дорог путем

установления правил общения между автономными агентами. Это позволит значительно улучшить ситуацию на наших дорогах.

Библиографический список

1. Новые нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте // Торговля и общественное питание; Вып. 12(24) – М.: ИНФРА-М, 2003. – 71 с.

2. Список стран по количеству автомобилей на 1000 человек // Википедия – свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_количеству_автомобилей_на_1000_человек (дата обращения: 20.03.2019).

3. Климович А.Н., Шуть В.Н. Системный анализ основных тенденций в развитии адаптивных методов управления транспортными потоками // Системный анализ и прикладная информатика. – 2017. – №3. – С. 28-32.

4. Flemisch, F. [et.al.] Towards Highly Automated Driving: Intermediate report on the HAVEit-Joint System. 3rd European Road Transport Research Arena. – 2010, P.1-12.

5. Buehler, M., Iagnemma, K., Singh, S. The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic. Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2010, P. 441-508.

6. Интеллектуальные транспортные системы – проблемы на пути внедрения в России // Хабр – крупнейший в Европе ресурс для IT-специалистов. URL: <https://habr.com/ru/post/175497/> (дата обращения: 23.03.2019).

7. Мирзаи Х. Разработка адаптивного алгоритма контроллера светофора с приоритетной выборкой в режиме реального времени [Электронный ресурс] // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии. – 2017. – №1 – С. 26-27. – URL: <http://www.vestnik.vsu.ru>.

8. Капский Д.В., Рябчинский А.И. Метод конфликтных зон прогнозирования аварийности: разработка и совершенствование. Вестник

Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2016. – Выпуск 1 (44). – С.107-113.

9. Капский Д.В., Шуть В.Н., Пегин П.А. Графическая модель конфликтного взаимодействия транспортных средств на различных перекрестках. Наука и техника. – 2018. – №3. – Т.17. – С. 246-254.

10. Моргунов В.И. Тенденции развития транспортно-логистических структур в деятельности хозяйствующих субъектов. РИСК: Ресурсы. Информация. Снабжение. Конкуренция. – 2016. – №3. – С. 22-24.

11. Vehicle-To-Everything // Википедия – свободная энциклопедия. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything> (дата обращения 23.03.2019).

12. Yantao Li, et al. A distributed spatial-temporal weighted model on MapReduce for short-term traffic flow forecasting // Neurocomputing 179. – 2016. – P. 246–263.

References

1. New standards for fuel and lubrica

2. The list of countries by the number of cars per 1000 people // Wikipedia – the free encyclopedia. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Listcountryofthenumber_of_cars_to_1000_people (appeal date: 03/20/2019).

3. Klimovich A.N., Shut V.N. System analysis of the main trends in the development of adaptive methods for managing transport flows. // System analysis and applied informatics – 2017. – № 3. – Pp. 28-32.

4. Flemisch, F. [et.al.] Towards Highly Automated Driving: Intermediate Report on the HAVEit-Joint System. 3rd European Road Transport Research Arena – 2010, P.1-12.

5. Buehler, M., Iagnemma, K., Singh, S. The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic. Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2010, P. 441-508.

6. Intellectual transport systems – problems on the way of introduction in Russia // Habr – the largest resource in Europe for IT-specialists. URL: <https://habr.com/ru/post/175497/> (access date: 03/23/2019).

7. Mirzai H. Development of an adaptive algorithm for a traffic light controller with a priority sample in real time [Electronic resource] // Vestnik VSU, series: system analysis and information technologies. – 2017. – №1. – P. 26-27. – URL: <http://www.vestnik.vs>.

8. Kapsky D.V., Ryabchinsky A.I. The method of conflict zones forecasting accidents: development and improvement. Bulletin of the Moscow State Automobile and Highway Technical University (MADI) – 2016 Issue 1 (44), pp.107-113.

9. Kapsky D.V., Shut V.N., Pegin P.A. Graphic model of conflict interaction between vehicles at various intersections. Science and technology. – 2018. – №3, T.17. – P. 246-254.

10. Morgunov V.I. Trends in the development of transport and logistics structures in the activities of economic entities. RISK: Resources. Information. Supply. Competition. – 2016. – № 3. – Pp. 22-24.

11. Vehicle-To-Everything // Wikipedia, the free encyclopedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-everything> (contact date 03/03/2019).

12. Yantao Li, et al. A distributed spatial-temporal weighted model on MapReduce for short-term traffic flow forecasting // Neurocomputing 179 – 2016, P. 246–263.