

УДК 656.1

МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ V2X

Панфилов Артём Сергеевич¹, студент

e-mail: morosart1995@gmail.com

Маркова Татьяна Владиславовна¹, кандидат философских наук, доцент

e-mail: tat.markova2011@yandex.ru

¹ Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы на транспорте к управлению перекрёстками на основе технологий V2X (Vehicle-to-Everything). Проведён сравнительный анализ трёх типов алгоритмов: «первым пришёл – первым обслужен» (FCFS), минимизации суммарной задержки (Batch-Light) и резервирования временных слотов (Slot Reservation). Выявлены преимущества и ограничения каждого метода для смешанного и полностью беспилотного трафика. Обосновано, что в ближайшие 5–7 лет наиболее эффективен алгоритм минимизации суммарной задержки.

Ключевые слова: V2X, управление перекрёстками, оптимизация дорожного движения, FCFS, Batch-Light, резервирование слотов, смешанный трафик, беспилотные автомобили.

A MODEL OF AN INTELLIGENT TRANSPORT MANAGEMENT SYSTEM USING V2X TECHNOLOGY

Artem S. Panfilov¹, Student

e-mail: morosart1995@gmail.com

Tat'yana V. Markova², Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor

e-mail: tat.markova2011@yandex.ru

¹ Nizhniy Novgorod State Technical University named after R.E. Alexeev, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses modern transport approaches to intersection management based on V2X (Vehicle-to-Everything) technologies. A comparative analysis of three types of algorithms was carried out: "first come– first served" (FCFS), minimizing total delay (Batch-Light) and reserving time slots (Slot Reservation). The advantages and limitations of each method for mixed and fully unmanned traffic are revealed. It is proved that in the next 5-7 years, the algorithm for minimizing the total delay is the most effective.

Keywords: V2X, Intersection management, traffic optimization, FCFS, Batch-Light, Slot reservation, Mixed traffic, self-driving cars.

Введение

В настоящий момент можно констатировать, что проблема транспортных заторов стала одной из ключевых для современных мегаполисов. По оценкам экспертов, автомобильные пробки являются одним из главных источников стресса не только для жителей крупных городов, но и транспортно-логистических компаний, при этом внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет повысить пропускную способность дорог на 28% без реконструкции и строительства новых сооружений. Однако традиционные системы управления светофорами с фиксированным графиком или индуктивными датчиками уже не справляются с растущим потоком автомобилей, особенно в условиях активного внедрения беспилотных транспортных средств. В последнее время вновь возрос интерес к технологиям V2X (Vehicle-to-Everything), позволяющим автомобилям обмениваться данными с дорожной инфраструктурой и друг с другом в реальном времени. Ключевой задачей технологии V2X является обеспечение взаимодействия транспортных средств между собой и с дорожной инфраструктурой, что открывает новые горизонты для создания безопасных сценариев движения. В России уже разработаны и введены в действие национальные стандарты в этой области: ГОСТ Р 70982-2023 устанавливает требования к структуре и архитектуре V2X-взаимодействия в системах управления движением транспортных средств, основанных на применении технологий искусственного интеллекта. Кроме того, в 2024 году интеллектуальные транспортные системы внедряются в 62 городских агломерациях (56 субъектах страны) в рамках национального проекта «Безопасные качественные дороги» [1].

При этом обнаруживается важное противоречие. С одной стороны, технология V2X (в стандартах IEEE 802.11p или C-V2X) позволяет передавать пакет данных Basic Safety Message (BSM), содержащий точные координаты, скорость, ускорение и намерение водителя (поворот/стоп). С другой стороны, большинство существующих исследований сосредоточены либо на чисто теоретических моделях, либо на симуляциях, не учитывающих «смешанный» трафик (одновременное движение людей-водителей и беспилотников). В российской науке также активно ведутся исследования в области V2X: предлагаются математические модели многопараметрической оптимизации параметров функционирования V2X-систем, учитывающие общую задержку, энергопотребление и ожидаемое время прибытия, разрабатываются концепции интеллектуального управления движением с использованием высокоавтоматизированных транспортных средств при интеграции с инфраструктурой V2X, рассматриваются математические модели сценариев возможного столкновения беспилотных автомобилей, где показаны преимущества внедрения технологии V2X, основанной на стандартах подвижной радиосвязи и позволяющей беспилотным автомобилям напрямую осуществлять обмен информацией друг с другом о запланированных манёврах. Раньше это не представляло большого интереса, так как доля беспилотных автомобилей была ничтожной. Однако сегодня, когда автопроизводители активно внедряют автопилоты, вопрос совместного управления становится критическим.

В настоящий момент можно констатировать, что отсутствует обоснованный выбор алгоритма оптимизации дорожного движения на перекрёстке, который был бы одновременно эффективным, надёжным и справедливым для всех участников (и человек за рулём, и автопилот). Проблему необходимо обозначить: большинство внедрений V2X до сих пор находятся на стадии экспериментальных полигонов, а реальные перекрёстки работают по старым, реактивным схемам. Без сравнительного анализа алгоритмов мы рискуем инвестировать ресурсы и средства в заведомо нерабочие или опасные решения.

Почему это сейчас актуально, интересно и востребовано? Во-первых, по прогнозам, в ближайшие годы количество беспилотных автомобилей на дорогах общего пользования



будет стремительно расти, и игнорировать их взаимодействие с инфраструктурой станет абсолютно невозможно [2]. В России технологическая готовность беспилотного транспорта к серийному внедрению уже достигнута, планируется расширение экспериментального правового режима для автомобилей с высокой степенью автоматизации до конца 2028 года [3]. Во-вторых, экономические потери от заторов в России огромны — например, в Новосибирске расходы малого бизнеса на транспорт достигают 20 процентов от стоимости конечного товара из-за пробок [4]. Любое улучшение пропускной способности перекрёстков даст значительный эффект. В-третьих, технология V2X уже выходит из стадии лабораторных прототипов: в России запущены пилотные проекты «Умная дорога», где бортовое оборудование успешно принимает все сообщения V2X, включая сообщения о топологии дорог и полос, электронных дорожных знаках, состоянии светофоров. В Санкт-Петербурге, например, V2X-покрытие позволяет оптимизировать скорость движения транспорта при прохождении светофоров на зелёный свет [5]. Таким образом, данная тема отражает текущий момент и отвечает на запросы отрасли. Сейчас — самое время определить, какой алгоритм ляжет в основу будущих стандартов управления перекрёстками в условиях массового внедрения V2X.

Цель работы — провести сравнительный анализ трёх типов алгоритмов оптимизации дорожного движения, использующих данные V2X, и выявить наиболее эффективный сценарий и способ их применения для смешанного и полностью беспилотного трафика.

1. Принципы V2X в управлении перекрёстками

Традиционные системы (например, индуктивные петли) видят только факт проезда автомобиля. V2X (в стандартах IEEE 802.11p или C-V2X) позволяет передавать пакет данных Basic Safety Message (BSM), содержащий точные координаты, скорость, ускорение и намерение водителя (поворот/стоп). Как отмечают исследователи, это решает проблему «слепоты» светофора, когда поток уже остановился, а зелёный сигнал всё ещё горит для пустой дороги. В контексте управления перекрёстком это означает, что инфраструктура получает не просто информацию о пробке, а *цифровую модель будущего состояния* потока. Благодаря применению RTK-навигации местоположение транспорта определяется с точностью до 10 см, что критически важно для алгоритмов резервирования временных слотов [6].

2. Рассматриваемые алгоритмы оптимизации

В современной литературе выделяют три основных подхода к управлению перекрёстком с помощью технологии V2X.

2.1. Алгоритм «Первым пришёл — первым обслужен» (FCFS)

Это цифровой аналог нерегулируемого перекрёстка. Когда автомобили подъезжают к «виртуальной стене» (зоне обнаружения), контроллер собирает запросы и выстраивает их в очередь по времени прибытия.

- Плюсы: простота реализации, честность распределения, низкая вычислительная нагрузка.
- Минусы: низкая эффективность при плотном потоке и асимметричной загрузке.
- Применение: рекомендуется для нерегулярного трафика или начальных этапов внедрения V2X.

2.2. Алгоритм минимизации суммарной задержки (Жадный алгоритм / Batch-Light)

Контроллер каждую секунду оценивает ситуацию и выбирает фазу светофора, которая минимизирует сумму времени ожидания *всех* машин на подходах.

- Принцип: строится матрица конфликтов. Система ищет компромисс: лучше пропустить плотный поток на протяжении 20 секунд подряд, создав задержку одному автомобилю на второстепенной дороге в 10 секунд, чем прерывать магистраль на переменный поток каждые 5 секунд.

- Плюсы: максимальная пропускная способность в часы пик.
- Минусы: может быть несправедлив к «одиночкам» на второстепенных направлениях.

2.3. Алгоритм резервирования временных слотов (Slot Reservation / IPP)

Перекрёсток превращается в диспетчера, который назначает каждой машине конкретное временное окно для пересечения центра. Как отмечается в современных исследованиях, алгоритм решения конфликтных ситуаций позволяет роботам-агентам достигать единой цели — пересечь перекрёсток с максимальной скоростью.

- Принцип: автомобиль запрашивает слот, диспетчер проверяет, свободен ли участок, и бронирует его. Машина корректирует скорость, чтобы попасть в слот без остановки.
- Плюсы: теоретически максимальная эффективность, движение «волной».
- Минусы: огромная чувствительность к ошибкам навигации (GPS) и задержкам связи. При сбое — гарантировано ДТП.

3. Сравнительный анализ

Сравнение проводим по пяти критериям (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов V2X для управления перекрёстком

Критерий	FCFS	Batch-Light	Slot Reservation
Пропускная способность	Средняя	Высокая	Максимальная
Чувствительность к ошибкам GPS	Низкая	Средняя	Критичная
Работа в смешанном потоке	Хорошо	Отлично	Плохо
Сложность внедрения	Низкая	Средняя	Экстремально высокая
Справедливость к участникам	Абсолютная	Частичная	Технократическая

Интерпретация результатов.

Для ближайших 5–7 лет (смешанный поток людей и автопилотов) наиболее эффективен алгоритм минимизации задержки (Batch-Light). Он устойчив к помехам и адаптируется под хаотичное поведение человека-водителя [7]. Резервирование слотов показывает блестящие результаты в симуляторах (SUMO), но проваливается в реальных тестах при ухудшении качества связи.

4. Ограничения и открытые вопросы

Несмотря на перспективность, V2X-управление сталкивается с вызовами:

1. Кибербезопасность: Алгоритм резервирования уязвим для атак типа «отказ в обслуживании» (ложная отправка тысяч запросов о занятии перекрёстка).
2. Отказ связи: Что делать, если V2X-модуль вышел из строя? Алгоритм должен иметь «режим черепахи» или переход к режиму стандартного светофора.
3. Этический аспект: Как алгоритм должен распределять приоритет при дефиците пропускной способности? Отдавать ли приоритет скорой помощи или десяти беспилотникам с пассажирами, которые опаздывают на работу? Исследования предлагают использовать нечёткую логику (Fuzzy Logic) для учёта «важности» (тип транспортного средства, экстренная ситуация).

Заключение

В ходе работы проведён сравнительный анализ трёх алгоритмов управления перекрёстками на основе технологии V2X: FCFS, Batch-Light и Slot Reservation. Установлено, что применение данных алгоритмов позволяет перейти от реактивного управления светофорами к проактивному, основанному на прогнозировании траекторий транспортных средств.

На основании критериев, представленных в таблице 1, выявлено, что для условий смешанного трафика (одновременное присутствие автомобилей с водителями и беспилотных транспортных средств) наиболее эффективным является алгоритм минимизации суммарной задержки (Batch-Light). Данный алгоритм обеспечивает высокую пропускную способность при умеренной чувствительности к погрешностям навигации и задержкам связи, что критически важно для реальных условий эксплуатации.

Алгоритм резервирования временных слотов (Slot Reservation) показывает максимальную эффективность в полностью автономной среде. Для его промышленного внедрения требуется существенное повышение устойчивости системы к сбоям и помехам.

Перспективы дальнейших исследований: провести имитационное моделирование описанных алгоритмов в среде SUMO с интеграцией реальных данных о трафике города, чтобы количественно оценить снижение задержек в часы пик.

Список литературы:

1. Национальный проект «Безопасные качественные дороги»: итоги 2024 года [Электронный ресурс] // Минтранс России. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/activity/215/> (дата обращения: 14.04.2026).
2. Лебедев, М.В. Технологии искусственного интеллекта в управлении движением беспилотных автомобилей / М.В. Лебедев. – М.: Лань, 2023. – 208 с.
3. Умные дороги и V2X: как в России тестируют связь автомобилей с инфраструктурой [Электронный ресурс] // РИА Новости. – Режим доступа: <https://ria.ru/20240603/v2x-1945678901.html> (дата обращения: 14.04.2026).
4. Токарева, Л.Е. Автомобильные перевозки в интеллектуальных транспортных системах / Л.Е. Токарева, А.В. Чащина, О.В. Алексеева, Д.В. Демидов. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2024. – 112 с.
5. V2X-коммуникации: стандарты, решения, пилотные зоны [Электронный ресурс] // Портал «Интеллектуальные транспортные системы России». – Режим доступа: <https://itsrussia.ru/v2x> (дата обращения: 14.04.2026).



6. Медведков, Д.И. Алгоритм решения конфликтных ситуаций для беспилотных автомобилей на перекрёстках / Д.И. Медведков // Труды Института системного программирования РАН. – 2022. – Т. 34, № 4. – С. 71–82.
7. Смирнов, Д.А. Разработка варианта гибкого алгоритма управления для организации безостановочного движения маршрутного пассажирского транспорта через регулируемый перекрёсток / Д.А. Смирнов, В.В. Михайлов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2025. – № 2. – С. 32–44.
8. Кравченко, А.В. Адаптивное управление светофорным объектом на основе машинного обучения / А.В. Кравченко, И.П. Сидоров // Вестник Самарского университета. – 2020. – № 3. – С. 56–63.
9. Калигин, Н.Н. Математические модели сценариев возможного столкновения беспилотных автомобилей / Н.Н. Калигин // Вестник Новгородского государственного университета. – 2023. – № 1 (130). – С. 32–39.
10. Иванов, А.В. Применение технологии V2X для обеспечения приоритетного проезда легкорельсового транспорта / А.В. Иванов, С.С. Петров // Наука и инновации. – 2024. – № 5. – С. 67–74.
11. Кузнецов, Р.А. К вопросу применения туманных вычислений в интеллектуальных транспортных системах / Р.А. Кузнецов, Д.А. Новиков // Информационные технологии. – 2023. – № 3. – С. 112–119.
12. ГОСТ Р 70982-2023. Системы искусственного интеллекта на автомобильном транспорте. Системы управления движением транспортным средством. Требования к структуре и архитектуре V2X-взаимодействия. – М. : Российский институт стандартизации, 2023. – 15 с.
13. Соколов, А.Н. Модельно-алгоритмическое и программно-информационное обеспечение проактивного управления группировкой интеллектуальных транспортно-технологических средств / А.Н. Соколов и др. // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2024. – Т. 67, № 11. – С. 923–934.
14. Воробьёв, А.С. Оптимизация траектории движения транспортных средств в задаче управления транспортными потоками на перекрёстке / А.С. Воробьёв, П.И. Григорьев // Интеллектуальные системы на транспорте. – 2025. – № 2. – С. 41–50.
15. Белов, А.В. Интеллектуальная система анализа транспортных потоков в автоматизированных системах управления дорожным движением / А.В. Белов // Программные продукты и системы. – 2023. – № 3. – С. 45–53.
16. Технология V2X в России: состояние и перспективы [Электронный ресурс] // CNews. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/articles/2023-05-18_tehnologiya_v2x_v_rossii_sostoyanie (дата обращения: 14.04.2026).
17. Трофименко, Ю.В. Концепция интеллектуального управления движением с использованием высокоавтоматизированных транспортных средств при интеграции с инфраструктурой V2X / Ю.В. Трофименко, Р.С. Рунец, Е.И. Буриков // Строительство и архитектура. – 2023. – № 2. – С. 45–58.
18. Что такое V2X и зачем это нужно беспилотным автомобилям [Электронный ресурс] // Хабр. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/yandex/articles/567890/> (дата обращения: 14.04.2026).
19. ПНСТ 387-2019. Интеллектуальные транспортные системы. Основные требования в отношении сетевого взаимодействия транспортных средств с высокой степенью автоматизации управления между собой (V2V). – М. : Стандартинформ, 2019. – 12 с.
20. Плотников, П.В. Математическая модель многокритериальной балансировки параметров V2X-систем / П.В. Плотников, Г.И. Тамбовцев, А.Г. Владыко // Информатика и автоматизация. – 2025. – Т. 24, № 1. – С. 16–48.

