

РОМАН ДУШКИН

ОТ V2X К A2X



АЛГОРИТМЫ НОВОГО МИРА

Роман Душкин

От V2X к A2X

<https://litres.ru/74217574>

SelfPub; 2026

Аннотация

Эта книга собирает под одной обложкой ключевые шаги развития интеллектуальных транспортных систем: от первых V2V- и I2V-решений через кооперативные ИТС и безостановочное движение до интеллектуализированных V2X-платформ и A2X-сред, в которых действуют гетерогенные агенты — автомобили, роботы, дроны, инфраструктура и цифровые сервисы. Антология «От V2X к A2X» даёт инженеру, исследователю и преподавателю мост между конкретными дорожными задачами и современной теорией многоагентных систем и кооперации, помогая увидеть, какие решения нужно принимать уже сегодня, чтобы транспорт не превратился в хаотичный набор технологий, а стал управляемой интеллектуальной системой нового мира.

Содержание

Предисловие: как агентный взгляд пришёл в транспорт — от сенсорики и кооперативных ИТС до A2X	4
Часть I. Истоки: сенсорика, кооперативные ИТС и V2X	16
Глава 1. Мультисенсорная интеграция в транспортной отрасли	20
Глава 2. Многоагентные системы для кооперативных ИТС	32
Конец ознакомительного фрагмента.	48

Роман Душкин

От V2X к A2X

Предисловие: как агентный взгляд пришёл в транспорт — от сенсорики и кооперативных ИТС до A2X

Интеллектуальные транспортные системы перестали быть лишь частным направлением цифровизации дорожной отрасли. За последние годы стало очевидно, что транспорт входит в фазу глубокого качественного преобразования, в которой уже недостаточно рассматривать автомобиль, дорожную инфраструктуру, средства управления движением и информационные сервисы как отдельные технические объекты. Современная транспортная среда постепенно превращается в сложную, насыщенную данными, связями и вычислениями систему, в рамках которой устойчивость, безопасность и эффективность определяются не столько совершенством каждого отдельного элемента, сколько качеством их взаимодействия. Именно поэтому в центре внимания всё чаще оказываются не изолированные устройства и подсисте-

мы, а архитектуры кооперации, обмена сообщениями, распределённого восприятия и совместного принятия решений.

Эта логика особенно важна сегодня, когда транспортная отрасль одновременно испытывает давление сразу нескольких тенденций. С одной стороны, продолжается усложнение городской и магистральной мобильности: растут плотность потоков, цена задержек, чувствительность дорожной сети к локальным сбоям, требования к экологичности и энергетической эффективности. С другой стороны, происходит ускоренное внедрение технологий автоматизации и интеллектуализации, ассистирования водителю, машинного зрения, навигации, телематики, связи и искусственного интеллекта. Наконец, всё более реалистичной становится перспектива широкого использования высокоавтоматизированных и беспилотных транспортных средств, для которых вопрос индивидуальной автономности уже не может решаться в отрыве от среды, инфраструктуры и других участников движения.

На ранних этапах развития подобных систем естественный интерес был сосредоточен на самом транспортном средстве: насколько хорошо оно способно «видеть» окружающий мир, распознавать объекты, строить маршрут, удерживаться в полосе, оценивать расстояния, прогнозировать поведение других участников движения. Такой взгляд был необходим и в значительной степени сохраняет своё значение до сих пор. Однако по мере развития отрасли стало ясно, что даже самое совершенное транспортное средство остаётся

ограниченным собственной сенсорикой, собственным контекстом, собственной перспективой и собственной локальной вычислительной инфраструктурой. Камеры, лидары, радары, навигационные приёмники и другие средства восприятия существенно расширяют машинное представление о дорожной обстановке, но не устраняют фундаментальной проблемы ограниченной наблюдаемости среды. Транспортное средство не может «увидеть» то, что скрыто за поворотом, закрыто зданием или рельефом, искажено погодными условиями, отражает особенности разметки, архитектуру перекрёстка или поведение объектов вне прямой зоны доступности для сенсоров.

Именно здесь возникает принципиально важный сдвиг, который и лежит в основе настоящей антологии. Вопрос начинает ставиться уже не так: «Насколько интеллектуален отдельный автомобиль?», а так: «Насколько интеллектуальна транспортная система в целом и насколько хорошо её элементы умеют кооперироваться между собой?». Этот поворот означает переход от логики индивидуальной автономии к логике кооперативной автономии. В такой рамке транспортное средство должно не только воспринимать мир самостоятельно, но и получать знания от других транспортных средств, от инфраструктуры, от центров обработки данных, от цифровых сервисов и, в перспективе, от других интеллектуальных агентов, действующих в общей среде. На практике это означает переход к системам V2V, I2V, V2I, V2X и далее —

к более широким многоагентным системам в сложных средах, в которых коммуникация становится не вспомогательной функцией, а основой самой архитектуры движения.

Собранные в этой книге статьи отражают именно такую эволюцию взгляда. В них последовательно прослеживается путь от анализа ограничений восприятия и роли мультисенсорной интеграции до понимания транспортной системы как многоагентной, в которой взаимодействие между участниками позволяет решать задачи, недоступные каждому из них по отдельности. В этом отношении особенно показательной является проблема так называемых «оптических иллюзий» в транспортной среде. Речь идёт не о случайных ошибках или редких зрительных феноменах, а о системном несоответствии между реальной дорожной обстановкой и тем, как она воспринимается и интерпретируется человеком или даже автономной системой в условиях неполной информации. V2V- и I2V-взаимодействия позволяют в значительной степени преодолевать эти ограничения, вводя в контур принятия решений внешний, распределённый слой знания о происходящем.

С другой стороны, важнейшим предварительным условием для развития таких взаимодействий становится мультисенсорная интеграция. Для транспортной отрасли это не просто инженерный приём объединения данных с нескольких датчиков, а базовый принцип построения надёжного машинного восприятия. Камеры дают богатую визуальную кар-

тину, но чувствительны к освещению и погоде; радары устойчивы в неблагоприятных условиях, но дают иной класс представлений; лидары обеспечивают точное трёхмерное описание сцены, однако имеют собственные ограничения; навигационные данные помогают позиционированию, но не решают всех задач локального понимания ситуации. Лишь объединение всех этих каналов в единую архитектуру позволяет повысить устойчивость распознавания, качество ориентирования и достоверность оценки дорожной сцены. Но даже эта интеграция сама по себе ещё не делает транспортную систему кооперативной. Она лишь подготавливает почву для следующего шага — для включения транспортного средства в распределённую сеть взаимодействий.

Именно поэтому в антологии столь заметное место занимают сюжеты, связанные с кооперативными интеллектуальными транспортными системами и многоагентным подходом. В какой-то момент становится ясно, что дорожная сеть будущего не может быть адекватно описана ни исключительно через централизованное управление, ни через набор независимых автономных транспортных средств. Более продуктивной оказывается модель, в которой отдельные машины, элементы инфраструктуры, сервисные узлы, центры управления, а в перспективе и более сложные цифровые компоненты рассматриваются как агенты, обладающие собственными состояниями, целями, ролями и возможностями взаимодействия. Такой взгляд позволяет анализировать

не только обмен сообщениями, но и кооперацию, конкуренцию, согласование действий, возникновение эмерджентных эффектов и организацию коллективного поведения. Для транспортных инженеров это принципиально важный сдвиг: транспортная система предстаёт не как сумма объектов, а как система организованного взаимодействия.

Практическая ценность такого подхода особенно ясно проявляется в задачах безостановочного движения и управления перекрёстками. Долгое время перекрёсток оставался едва ли не самым концентрированным выражением транспортной сложности: здесь сходятся конкурирующие потоки, возникают конфликты траекторий, накапливаются задержки, формируются очереди и каскадные эффекты перегрузки дорожной сети. В классической модели управление перекрёстком строилось вокруг жёстких фаз и усреднённых сценариев. Но в кооперативной, связанной и интеллектуализированной транспортной системе перекрёсток превращается в пространство согласования, в котором обмен данными, прогнозирование, подбор рекомендуемых скоростей и координация траекторий способны обеспечить принципиально иной режим движения. Именно этим объясняется интерес к безостановочному проезду перекрёстков, к методам GLOSA и к инфраструктурным сервисам, которые помогают как высокоавтоматизированным транспортным средствам, так и обычным водителям двигаться более плавно, безопасно и экономично.

Следующий уровень развития темы связан уже не просто с внедрением отдельных V2X-решений, а с интеллектуализацией всей среды мобильности. В этой рамке V2X перестаёт быть только технологией передачи телематических сообщений между автомобилем и инфраструктурой. Оно становится платформой, на которой строятся более сложные формы кооперации, согласования и распределённого управления. Взаимодействия между участниками движения начинают рассматриваться как часть более широкой экосистемы, включающей не только транспорт, но и цифровые сервисы, энергетическую инфраструктуру, городские системы, облачные вычисления, аналитические контуры и средства поддержки принятия решений. Такой подход позволяет говорить уже не только о подключённых транспортных средствах, но о подключённой мобильности в полном смысле этого слова: о мобильности как согласованном, интеллектуальном, распределённом процессе.

Логическим продолжением этой линии становится переход от V2X к A2X. Если V2X описывает взаимодействия транспортного средства со всем остальным, то A2X фиксирует более высокий уровень абстракции, на котором действующими единицами становятся уже не просто физические транспортные средства, а автономные агенты различной природы. Это могут быть агенты транспортных средств, агенты инфраструктурных компонентов, агенты цифровых платформ, роботы, дроны, сервисные подсистемы, коорди-

национные контуры и иные интеллектуальные единицы, действующие в общей среде. В таком контексте на первый план выходят не только протоколы связи, но и стратегии кооперации, правила согласования интересов, модели распределения ресурсов, механизмы достижения устойчивого коллективного поведения. Именно поэтому завершающие материалы антологии обращаются к теоретико-игровому проектированию кооперации агентов в А2Х-средах для беспилотных и робототехнических систем. Здесь транспорт уже очевидным образом оказывается частью более общей агентной и киберфизической реальности нового мира.

По этой причине настоящая антология выпускается именно в рамках серии «Алгоритмы нового мира». Это не просто авторское решение и не только способ тематически объединить материалы. Само название серии точно указывает на ту историческую ситуацию, в которой находятся сегодня транспорт, индустрия автоматизации, искусственный интеллект и инженерное мышление в целом. Новый мир возникает не одномоментно и не в виде абстрактного технологического скачка; он складывается из множества конкретных инженерных решений, протоколов, архитектур, методов координации и форм машинно-человеческого взаимодействия. Алгоритмы этого мира — это не только процедуры вычисления в узком программном смысле. Это способы организации сложных сред, способы управления неопределённостью, способы кооперации множества распределённых

участников, способы превращения данных в знание, а знания — в согласованное действие. Транспортная отрасль оказывается одним из наиболее наглядных полигонов, на которых эти алгоритмы проявляются с максимальной практической остротой.

Антология «От V2X к A2X» поэтому может читаться сразу в нескольких регистрах. Для транспортного инженера это собрание текстов о конкретных технологических направлениях: мультисенсорная интеграция, V2V и I2V, кооперативные ИТС, V2X, GLOSA, безостановочное движение, интеллектуализированная мобильность, A2X-среды. Для исследователя искусственного интеллекта и многоагентных систем это материал о том, как агентный подход выходит из области абстрактных моделей и становится инструментом проектирования реальных инфраструктурных систем. Для управленца и архитектора сложных технических систем это свидетельство того, что будущее транспорта зависит уже не столько от совершенствования отдельных компонентов, сколько от способности выстраивать согласованные, наблюдаемые и устойчивые контуры взаимодействия между множеством действующих единиц.

Важно и то, что собранные здесь статьи не являются внешне нейтральным обзором чужих решений. Напротив, они фиксируют определённую исследовательскую и инженерную траекторию, в которой шаг за шагом вырабатывался взгляд на транспорт как на кооперативную интеллектуальную сре-

ду. В этом смысле антология не просто собирает публикации под одной обложкой, а позволяет увидеть внутреннюю логику их появления: от постановки локальных проблем восприятия и взаимодействия — к моделям коллективного поведения; от анализа отдельных каналов передачи информации — к идее связанной среды; от описания технологических механизмов — к проектированию агентных архитектур; от прикладных дорожных задач — к более общим вопросам организации мобильности в киберфизическом мире. Для читателя это важно не меньше, чем сами частные результаты, потому что позволяет увидеть не только набор решений, но и направление движения мысли.

Современные условия делают такую постановку особенно актуальной. Рост требований к безопасности, развитие высокоавтоматизированного транспорта, усложнение городской среды, необходимость повышения пропускной способности без бесконечного наращивания инфраструктуры, переход к платформенным и дата-центричным моделям управления, сближение транспортных и робототехнических систем — всё это требует новых понятийных рамок и нового инженерного языка. Одного языка механики, связи или локальной автоматизации уже недостаточно. Всё настойчивее требуется язык кооперации, распределённого (роевого) интеллекта, агентных взаимодействий и системного проектирования сложной системы в не менее ложной среде. Именно в этом контексте V2X и A2X перестают быть модными аб-

бrevиатурами и превращаются в обозначения реальных архитектурных поворотов, определяющих развитие отрасли на годы вперёд.

Настоящий сборник статей адресован прежде всего коллегам — транспортным инженерам, разработчикам ИТС, специалистам по автоматизации дорожной инфраструктуры, исследователям беспилотного движения и всем тем, кто работает на стыке транспорта, связи, вычислений и искусственного интеллекта. Вместе с тем антология может быть полезна преподавателям, аспирантам и студентам, которым важно увидеть, как формируется современная инженерная проблематика в области кооперативных транспортных систем и почему её дальнейшее развитие всё теснее связано с многоагентными подходами. Собранные тексты не претендуют на исчерпывающее описание всей области. Их задача иная: показать связную траекторию становления одного из ключевых направлений транспортной инженерии нового времени — направления, в котором взаимодействие, кооперация и интеллектуализация среды становятся основой движения вперёд.

Поэтому антология показывает не только то, как меняется транспорт, но и то, как через транспорт становятся видимыми более общие законы наступающей технологической эпохи: переход от изолированных объектов к сетям агентов, от локального восприятия к распределённому знанию, от индивидуального управления к кооперативному согласованию, от

отдельных автоматизированных функций к целостным интеллектуальным системам. В этом и состоит, пожалуй, главный смысл собранных здесь работ: за частными инженерными решениями через них проступает новая архитектура мира, в котором движение, связь, вычисление и интеллект всё теснее переплетаются между собой.

Роман Душкин,

Серпухов, июль 2026

Часть I. Истоки: сенсорика, кооперативные ИТС и V2X

Развитие интеллектуальных транспортных систем началось не с беспилотности как таковой, а с более фундаментального вопроса: каким образом транспортная система может воспринимать окружающую обстановку достаточно полно, точно и своевременно, чтобы поддерживать безопасное и эффективное движение. На раннем этапе центральное место занимали задачи распознавания образов, ориентирования в пространстве, построения оптимальных маршрутов, обработки сигналов и повышения достоверности машинного восприятия. Именно отсюда возникает интерес к мультисенсорной интеграции, поскольку ни один отдельный сенсор — будь то камера, радар, лидар или навигационный модуль — не способен в одиночку обеспечить полноценную и устойчивую картину дорожной сцены во всём многообразии реальных условий эксплуатации.

Однако по мере развития этой тематики стало ясно, что даже совершенное техническое зрение не снимает главного ограничения: транспортное средство остаётся замкнутым в пределах собственной наблюдаемости. Оно может ошибаться в интерпретации сцены, сталкиваться с геометрическими искажениями, с ограничениями прямой видимости, с вре-

менными потерями данных, с погодными помехами и с иными эффектами неполной информации. В этом контексте особое значение приобретают те случаи, которые можно обозначить как «оптические иллюзии» транспортной среды: ситуации, в которых водитель или автоматизированная система строят решение на неполной, искажённой или запаздывающей картине происходящего. Именно здесь впервые особенно отчётливо проявляется необходимость вынести часть знания о ситуации за пределы отдельного автомобиля и превратить взаимодействие в самостоятельный инженерный ресурс.

Таким ресурсом становятся кооперативные интеллектуальные транспортные системы, в которых транспортные средства, инфраструктурные объекты, центры управления и иные элементы дорожной среды начинают рассматриваться как участники единого процесса обмена информацией и согласования действий. В этой логике задача уже не сводится к тому, чтобы сделать каждую машину как можно более автономной в изоляции. Напротив, ключевым становится вопрос о том, как организовать среду, в которой отдельные участники движения могут получать недостающие данные извне, учитывать состояние других агентов и действовать как элементы более крупной согласованной системы. Именно поэтому кооперативные ИТС естественным образом подводят к многоагентному взгляду на транспорт, когда взаимодействие становится не вспомогательной функцией, а основой

системной архитектуры.

В этой перспективе особую роль начинают играть V2V- и I2V-взаимодействия. Если V2V позволяет транспортным средствам обмениваться сведениями о собственном состоянии, намерениях и параметрах движения, то I2V формирует инфраструктурный канал знания о дорожной обстановке, режимах регулирования, ограничениях и локальных особенностях конкретного участка улично-дорожной сети. В совокупности эти механизмы создают принципиально новый слой наблюдаемости, который дополняет локальную сенсорику и позволяет преодолевать ограничения индивидуального восприятия. Поэтому в первой части антологии вопрос о взаимодействии появляется не как технологическая мода, а как закономерный ответ на фундаментальные проблемы восприятия, координации и безопасности в транспортной отрасли.

Особое значение I2V-взаимодействия состоит в том, что оно фактически связывает транспортное средство с распределённым интеллектом инфраструктуры. В такой постановке дорога перестаёт быть пассивной поверхностью, по которой движутся автомобили, и становится активным участником дорожной деятельности, способным передавать сведения о светофорных фазах, ограничениях, состояниях узлов, потенциальных конфликтах и рекомендуемых режимах движения. Это делает I2V одним из важнейших оснований для перехода к высокоавтоматизированному и беспилотному транспорту, поскольку автономность в реальных дорож-

ных условиях требует не только сильной бортовой вычислительной системы, но и доступа к внешнему, инфраструктурно организованному слою знания.

Наконец, первая часть антологии показывает, что переход к V2X не был одномоментным технологическим скачком. Ему предшествовало постепенное наращивание инженерного понимания: от задач распознавания и мультисенсорной интеграции — к осознанию ограниченности локального восприятия; оттуда — к кооперативным ИТС и многоагентным моделям; и далее — к V2V, I2V и более общей логике V2X как архитектуры транспортной кооперации. Именно в этом историческом и понятийном движении формируется фундамент всей последующей книги. Здесь закладывается тот язык, без которого невозможно обсуждать ни безостановочное движение, ни интеллектуализированную мобильность, ни будущие A2X-среды, в которых транспорт станет частью более общей агентной экосистемы.

Глава 1. Мультисенсорная интеграция в транспортной отрасли

1

В статье представлена авторская позиция по вопросу организации беспилотного движения на основе систем управления беспилотным транспортом нового поколения – систем, которые используют принципы мультисенсорной интеграции и обогащения данных с сенсоров различной модальности для более точного позиционирования себя в пространстве и построения пространственно-временной 3D-модели окружающей среды со взаимодействующими в ней агентами. Это позволяет решать сложные вопросы от прогнозирования развития ситуации в краткосрочном горизонте планирования до морально-этических вопросов типа «проблемы вагонетки». Новизна работы заключается в представлении авторской позиции относительно того, как должны функционировать бортовые системы беспилотного транспорта. Актуальность работы следует из повы-

¹ Впервые опубликовано как: Душкин Р. В., Андронов М. Г. (2020) *Возможности по использованию мультисенсорной интеграции при распознавании образов и ориентировании в пространстве в транспортной отрасли* // Транспортное планирование и моделирование: Сборник трудов V Международной научно-практической конференции, 16-17 апреля 2020 г. — СПб.: «Издательско-полиграфическая компания «Коста», 2020. — 184 с. — с. 48-53.

шенного интереса исследователей по всему миру к созданию систем беспилотного транспорта и беспилотных автомобилей, передвигающихся по автомобильным дорогам общего пользования. Статья будет интересна всем тем, кто живо интересуется новыми технологиями в транспорте и интеллектуализацией транспортных систем.

Ключевые слова: беспилотный автомобиль, беспилотное движение, интеллектуальная транспортная система, мультисенсорная интеграция, V2X-взаимодействие.

В настоящее время актуальнейшим научным и технологическим вопросом является запуск полноценного беспилотного движения автомобильного транспорта на дорогах общего пользования. Большое количество как производителей автомобилей, так и технологических компаний занимаются разработкой систем для беспилотного движения. Уже сегодня на улично-дорожных сетях пилотных городов по всему миру, в том числе и в России, ездят беспилотные автомобили в тестовом режиме [1]. Более того, производители беспилотных систем для автомобильного транспорта готовы уже сегодня запустить свои разработки в постоянную эксплуатацию для решения транспортных задач.

Широко используемой технологией для ориентации беспилотных автомобилей в окружающем пространстве является технология распознавания образов, которая сегодня базируется на применении нейросетевых методов глубокого обучения. Фактически, распознавание образов для ориентации

беспилотных автомобилей в пространстве сводится к выделению на воспринимаемой через видеокамере сцене объектов (выделение объектов из фона) и отнесению выделенных объектов к заранее определённым классам (классификация распознанных образов) [2]. С технологической точки зрения эти задачи эффективно решены, и постоянно появляются новые методы для повышения точности распознавания и классификации [3].

Для выделения объектов на фоне и распознавания образов сейчас применяются искусственные нейронные сети со свёрточной архитектурой. Разнообразные свёрточные нейронные сети на данный момент являются наилучшими инструментами решения различных задач компьютерного зрения [4]. Для отдельных задач свёрточные нейронные сети позволяют получить точность распознавания визуальных образов даже выше, чем у человеческого глаза [5].

Действительно, сама по себе свёрточная архитектура нейронных сетей основана на устройстве зрительной коры головного мозга млекопитающих. Основной особенностью этой архитектуры является то, что в ней слой за слоем осуществляется операция свёртки (отсюда и наименование), которая позволяет выделять абстрактные характеристики воспринимаемых изображений [6]. И чем глубже слой нейронной сети, тем более абстрактными становятся распознаваемые нейронами этого слоя характеристики. Абстрактность характеристик означает, что на глубинных уровнях уже не

важно — как сдвинут, повернут или масштабирован объект на сцене, соответствующий нейрон всё равно возбудится, если объект присутствует на ней. Эта находка стала прорывом в области решения задач распознавания образов.

Беспилотные автомобили используют технологию распознавания образов для ориентирования в пространстве. Это — главная задача компьютерного зрения, используемого в бортовых системах беспилотных транспортных средств. Ориентирование в окружающей среде подразумевает постоянное обновление оперативной карты локального участка вокруг транспортного средства с нанесением на неё всех помех и динамических объектов, которые участвуют в дорожной движении. Важность этой задачи обусловлена тем, что в процессе движения беспилотного автомобиля обозреваемая им сцена является важным источником информации для принятия решений о том, как осуществлять управление шасси транспортного средства, чтобы сделать поездку безопасной и эффективной.

Современные разработчики беспилотных автомобилей в своём большинстве используют для ориентирования в пространстве именно системы компьютерного зрения. Однако эта технология имеет существенные недостатки, которые делают её плохо применимой в так называемых областях доверия, к которым относится и управление беспилотными автомобилями при их движении по дорогам общего пользования. Это — состязательные атаки на системы компьютерного

зрения, суть которых заключается в демонстрации видеокameraм автомобиля специально сконструированных изображений для того, чтобы ввести блок принятия решений беспилотного автомобиля в заблуждение относительно того, что происходит вокруг него [7].

Поскольку дороги общего пользования представляют собой места с возможностью доступа любого лица, не вызывает сомнений то, что состязательными атаками смогут воспользоваться злоумышленники для нарушения работы как беспилотных автомобилей или транспортной отрасли в частности, так и социума в целом для достижения своих неблагоприятных целей [8]. Поэтому при реализации задачи доверия, которой является перевозка пассажиров или грузов по дорогам общего пользования, риск воздействия на системы компьютерного зрения беспилотных автомобилей должен быть существенно снижен до пренебрежимо малого значения.

Одним из методов снижения указанного риска является использование V2X-взаимодействия, о чём всё больше и больше начинают задумываться производители беспилотного транспорта после проработки этих вопросов в научной литературе. V2X-взаимодействие позволяет, в том числе, заранее передавать транспортным средствам информацию, которой они ещё не владеют, но которая потребуется им в самом ближайшем будущем для принятия оперативных решений по движению [9]. Вместе с тем само по себе V2X-взаимодействие между акторами на автомобильной дороге мо-

жет рассматриваться в рамках более общего метода снижения целого комплекса рисков, существующих у беспилотно-го движения, а именно – мультисенсорной интеграции.

Мультисенсорная интеграция – это слияние информации, получаемой с датчиков разной модальности, а также взаимное обогащение такой информации для получения целостного описания картины окружающей реальности. Слияние и обогащение информации может осуществляться на нескольких уровнях представления – от низкого (телематические данные с сенсоров) до высокого (понятийная информация для принятия решений). С точки зрения математики мультисенсорная интеграция представляет собой использование всей доступной с сенсоров разной модальности информации, полученной в один временной срез, для построения абстрактного описания окружающей среды на каком-либо формальном языке – логике высказываний, логике первого порядка и т. п., либо в виде неявного знания, полученного в процессе машинного обучения.

Простейшим примером мультисенсорной интеграции является человек. При его взрослении и обучении такая интеграция осуществляется в таламусе для того, чтобы визуальные образы, получаемые через глаза, сопоставлялись с звуковыми, тактильными и другими образами того же объекта. Более того, мультисенсорная интеграция у человека играет важнейшую роль в изучении языка, и письменные символы познаются через своё звучание благодаря этому механизму

[10].

Другим примером мультисенсорной интеграции у когнитивных агентов искусственной природы может быть использование голосовым помощником (чат-ботом) информации об общающихся с ним пользователях, которую он находит в различных источниках – непосредственно во время общения с пользователями, в социальных сетях, в источниках третьих сторон. В этом случае интеграция производится по источникам информации, хотя её модальность в основном одинакова. Тем не менее, это яркий пример технологии обогащения данных, которая всё чаще и чаще используется для обучения искусственных когнитивных агентов.

Если рассматривать системы управления беспилотными транспортными средствами, то здесь имеются широчайшие возможности по использованию технологии мультисенсорной интеграции. В качестве сенсоров могут использоваться следующие каналы получения информации об окружающей среде:



видеокамеры, осуществляющие панорамный наружный обзор и получение 2D-сцены окружающего автомобиль пространства;



радары и лидары, которые строят профиль свободного пространства вокруг беспилотного автомобиля, осуществляя замер расстояний до располагающихся вокруг объектов;

- датчики геопозиционирования (ГЛОНАСС/GPS, триангуляция по базовым станциям сотовой сети), которые позволяют с определённой точностью расположить автомобиль на карте;

- датчики V2X-взаимодействия для получения дополнительной информации об окружающем пространстве и динамике развития его состояния на ближайшее будущее;

- датчики внутреннего состояния узлов и агрегатов автомобиля, которые требуются для моделирования собственного состояния беспилотного транспортного средства в ближайшем будущем.

Кроме того, дополнительным источником информации является база общих знаний об окружающем мире, которая представляет собой абстрактную модель того пространства, в котором функционирует беспилотный автомобиль. Эта база знаний, фактически, представляет собой набор правил и отношений между объектами, при помощи которых дедуктивным образом по косвенным признакам можно вывести или утверждения, или высоко достоверные предположения о том, что происходит или будет происходить в ближайшее время, даже если прямое наблюдение недоступно для датчиков беспилотного автомобиля.

Поскольку действовать беспилотному автомобилю прихо-

дится в быстро меняющейся динамической среде, в которой объекты перемещаются с высокими скоростями, одной из серьёзных задач является построение как можно более точной 3D-модели окружающего пространства и анализа сцены. Именно в этом поможет мультисенсорная интеграция, выведя возможности анализа видеопотоков на новый уровень.

Действительно, видеопоток предоставляет только двумерную информацию о сцене, воссоздать по которой 3D-сцену в динамике затруднительно. Интеграция и взаимное обогащение информации с видеокамер, радаров, GPS-датчика, V2X-каналов и внутренней базы данных модели позволит решить эту проблему.

Наличие 3D-модели наблюдаемой сцены и взаимодействующих агентов в ней позволяет не только оперативно принимать решения о том, какое действие выполнять прямо сейчас, но и прогнозировать развитие ситуации. Прогноз, в свою очередь, открывает набор возможностей по оптимизации будущих действий, планированию движения и предотвращению возникновения нежелательных ситуаций (в том числе ДТП). Кроме того, это позволит нивелировать морально-этические аспекты выбора действий в сложных ситуациях, известных как «проблема вагонетки». Это важнейшее предназначение такой модели, построение которой возможно только при помощи мультисенсорной интеграции и взаимного обогащения данных на всех уровнях рассмотрения.

Беглый анализ открытых источников, в которых описы-

ваются принципы построения систем управления беспилотным транспортом, показал, что вопросы мультисенсорной интеграции практически не рассматриваются. Среди российских производителей только одна компания всерьёз рассматривает вопросы низкоуровневого слияния данных с сенсоров разной модальности, однако, это всего лишь один из аспектов мультисенсорной интеграции. При анализе имеющихся открытых источников о технических характеристиках систем управления беспилотными автомобилями среди зарубежных производителей не обнаружено тех, кто в принципе рассматривает этот вопрос – каждый делает ставку на какую-то одну технологию обследования окружающего пространства для точного позиционирования.

Вместе с тем, как показано выше, мультисенсорная интеграция позволит вывести решение многих задач, которые стоят перед беспилотным транспортом, на качественно новый уровень. При этом важной частью описанной технологии является V2X-взаимодействие, о чём неоднократно писали и докладывали авторы. Моделирование среды и поведения в ней взаимодействующих агентов должно стать принципиальным требованием к функционированию автономных автомобилей на дорогах общего пользования, и V2X-взаимодействие при этом становится одной из главных модальностей восприятия для прогнозирования будущего.

Авторы продолжают работать в области построения интеллектуальных транспортных систем, в том числе и с

учётом будущих внедрений беспилотного автомобильного транспорта, в связи с чем приглашают всех заинтересованных лиц к диалогу и сотрудничеству. Интеграционная платформа, разрабатываемая авторами в своём коллективе, уже сегодня предоставляет функциональность по обеспечению V2X-взаимодействия между всеми акторами на автомобильной дороге, а периферийное оборудование может включать модули такого взаимодействия.

Литература

Khrennikov, I. Russia's Yandex Joins the Self-Driving Car Million-Mile Club // Bloomberg.Com., 18 October 2019. [Электронный ресурс]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-10-17/russia-s-yandex-joins-the-self-drivingcar-million-mile-club>. Доступ 19.03.2020.

Ramos, S., Gehrig, S., Pinggera, P., Franke, U., Rother, C. Detecting unexpected obstacles for self-driving cars: fusing deep learning and geometric modeling, 2016. [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/pdf/1612.06573.pdf>. Доступ 10.03.2020.

Hirz, M., Walzel, B. Sensor and object recognition technologies for self-driving cars. Computer-Aided Design and Applications, 2018, № 15 (4), pp. 501–508.

Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с.

Dodge, S., Karam, L. A study and comparison of human

and deep learning recognition performance under visual distortions, 2017. [Электронный ресурс]: <https://arxiv.org/pdf/1705.02498.pdf>. Доступ 10.03.2020.

The handbook of brain theory and neural networks. Cambridge, MA, USA, MIT Press, 1998, pp. 255–258.

Андронов М. Г., Душкин Р. В. Проблема состязательных атак на системы компьютерного зрения при организации беспилотного движения // Дорожная держава. – 2019. – № 92. – С. 99–101.

Garfinkel, S. Hackers Are the Real Obstacle for Self-Driving Vehicles. MIT Technology review, 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.technologyreview.com/2017/08/22/242124/hackers-are-the-real-obstacle-for-self-driving-vehicles/>. Доступ 19.03.2020.

Душкин Р. В. I2V-взаимодействие – основа беспилотного движения // Дорожная держава. – 2018. – № 85.

Душкин Р. В. К вопросу о распознавании и дифференциации философского зомби // Философская мысль. – 2020. – № 1. – С. 52–66.

Глава 2. Многоагентные системы для кооперативных ИТС

2

В настоящей статье представлено видение автора на проблему создания интеллектуальных транспортных систем в условиях использования высокоавтоматизированных транспортных средств, свободно перемещающихся по улично-дорожным сетям городов. Рассмотрены вопросы организации из таких транспортных средств многоагентной системы для решения задач более высокого уровня, нежели доступных для решения каждым отдельным агентом (в случае настоящей работы — транспортным средством). Также рассмотрены различные типы взаимодействия транспортных средств друг с другом и агентами иной природы, а кроме того приведено несколько примеров новых задач, в которых организация такого взаимодействия будет иметь решающее значение. Научная новизна представленной работы основана на применении отдельных методов и технологий теории многоагентных систем из области искусственного интеллекта к созданию интеллектуальных транспортных систем и организации безостановоч-

² Впервые опубликовано как: Душкин Р. В. (2021) Многоагентные системы для кооперативных ИТС // Тренды и управление. — 2021. — № 1. — С. 42-50. — DOI: 10.7256/2454-0730.2021.1.34169.

ного движения высокоавтоматизированных транспортных средств. Показано, что при помощи теории многоагентных систем можно решать более сложные задачи, чем доступно каждому отдельному агенту по отдельности и даже простой сумме не взаимодействующих агентов. Из этого следует возможности получения эмерджентных эффектов так называемого роевого интеллекта множества взаимодействующих агентов. Статья будет интересна всем, кто занят в транспортной отрасли и с интересом смотрит в будущее.

Ключевые слова: интеллектуальная транспортная система, кооперативная ИТС, многоагентная система, автономный агент, высокоавтоматизированное транспортное средство, автономность, взаимодействие, V2X, искусственный интеллект, безостановочное движение.

Развитие интеллектуальных транспортных систем (ИТС) закономерно приводит к появлению новых и инновационных методов организации и управления дорожным движением и дорожной деятельностью. Этому же способствует и появление высокоавтоматизированных транспортных средств (ВАТС), в том числе и обладающих полной автономностью подключённых беспилотных автомобилей [Жанказиев и др., 2016]. Вместе с тем выход ВАТС на автомобильные дороги общего пользования, причём как городские, так и региональные и межмуниципальные дороги, является серьёзным технологическим вызовом существующим практикам и ин-

струментам управления дорожным движением [Приходько & Жанказиев, 2016].

Если говорить об устройстве и принципе функционирования ВАТС, то на самом верхнем уровне абстракции технология осуществления автономного управления транспортным средством основана на точном позиционировании автомобиля на детальной карте местности с нанесением на неё всех текущих статичных и динамичных препятствий, которые окружают автомобиль во время его движения. Для этого с высокой частотой автомобиль сканирует окружающее пространство при помощи своих сенсорных систем, выявляет препятствия, распознаёт и классифицирует их и наносит на карту. После этого осуществляется текущее тактическое целеполагание, планирование собственных действий и их осуществление [Galar et al., 2020].

Тем не менее, несмотря на целенаправленное развитие инструментария для беспилотного управления транспортными средствами, сегодня всё ещё остаётся ряд серьёзных проблем, среди которых необходимо отметить следующие:

Недетерминированное поведение самого ВАТС. Несмотря на то, что обычно технические средства, лежащие в основе ВАТС, делаются высоконадёжными, отдельные блоки и агрегаты могут иногда выполнять свои функции некорректно. Это приводит к некоторой степени недетерминированности поведения ВАТС, когда система управления им выдаёт управляющий сигнал на определённое действие, а ВАТС

реагирует некорректно и выполняет другое действие (или не выполняет никакого). Существуют методы минимизации такой недетерминированности поведения, однако в целом задача остаётся нерешённой.

Недетерминированная и частично наблюдаемая среда . Информация, получаемая ВАТС из внешней среды, по своей природе с необходимостью является недетерминированной и неполной. Первое означает, что в одном и том же состоянии среды на обработку в систему управления ВАТС может прийти разная информация. Второе — то, что некоторые аспекты среды принципиально недоступны сенсорным системам ВАТС для наблюдения. Это серьёзная проблема, ставящая перед разработчиками ВАТС сложные задачи, для некоторых из которых до сих пор нет полноценного решения.

Непрогнозируемое поведение других агентов . Все другие агенты, которые действуют в той же среде, что и ВАТС (другие транспортные средства, велосипедисты, пешеходы и даже животные), обладает трудно прогнозируемым поведением. ВАТС, наблюдающее за окружающей обстановкой, может только предположить целый набор возможных вариантов траекторий других агентов с приписыванием каждому варианту некоторой вероятности, что в совокупности по ансамблю агентов ведёт к комбинаторному взрыву возможных интегральных вариантов развития событий в среде.

Отсутствие целостного описания воспринимаемого окружения . Разные сенсорные системы ВАТС поставляют в его

систему управления данные различных сенсорных модальностей (видео, радар, лидар и т. д.), однако на основании этих данных не формируется целостного описания окружающего пространства, а как будто бы в одном «ящике» собрано несколько подсистем управления, работающих независимо друг от друга, и каждая из которых отвечает за какой-то определённый аспект функционирования ВАТС.

Разнообразные атаки на автомобиль . Наконец, нельзя не отметить возможность осуществления разнообразных атак на информационные и интеллектуальные системы автомобиля от традиционных кибератак на аппаратное и программное обеспечения до новых типов атак, направленных на интеллектуальную систему управления, работающую на методах искусственного интеллекта. Можно отметить так называемые атаки оптическими иллюзиями, когда система компьютерного зрения ВАТС подвергаются воздействию изображений, которые могут поменять поведение автомобиля на противоположное тому, которое требуется в текущей ситуации.

Само собой разумеется, что все перечисленные проблемы не представляют собой фундаментальных непреодолимых препятствий, поэтому в конечном итоге они будут разрешены. В частности, в работах [Душкин & Андронов, 2020] и [Душкин & Ильинский, 2019] предложены схемы решения проблем отсутствия целостного восприятия и атак на ВАТС соответственно. Целью настоящей работы является описать

направление исследований для решения трёх первых из перечисленных проблем. И для этого пригодится теория многоагентных систем [Тарасов, 2002] из области искусственного интеллекта.

Основное положение теории многоагентных систем (МАС) заключается в том, что в некоторой среде взаимодействует множество автономных, независимых друг от друга агентов, которые могут быть различной природы и функционировать на основании различных принципов. Важный элемент МАС — именно взаимодействие агентов друг с другом. Само собой разумеется, что каждый агент, в свою очередь, тоже представляет собой систему, которая в то же самое время взаимодействует и со средой, в которой агент функционирует. И таким образом, в рамках МАС получается два вида взаимодействия — между агентами и средой, и среди агентов друг с другом. Так что МАС — это система более высокого уровня системной иерархии, которая может решать задачи, принципиально недоступные как одному агенту, так и простому их невзаимодействующему набору.

Теорема о необходимом разнообразии [Эшби, 1959] из области кибернетики говорит о том, что для успешного управления разнообразие системы управления должно быть не меньше, чем разнообразие объекта управления. Это может быть достигнуто принципиально двумя путями — при помощи повышения разнообразия системы управления или при помощи снижения разнообразия объекта управления.

Снижение разнообразия объекта управления достигается введением различных норм и правил поведения. Фактически, правила дорожного движения — это и есть мера по снижению разнообразия в условиях, когда воздействовать на среду и участников дорожного движения иными мерами не представляется возможным. Наличие оговорённых правил поведения на автомобильных дорогах обуславливает то, что от участников дорожного движения будут ожидать определённые действия в заданных ситуациях. Использование нормативно-технического регулирования (различные ГОСТ на обустройство автомобильных дорог и придорожной инфраструктуры) позволяет снизить разнообразие окружающего ВАС пространства.

Тем не менее, все перечисленные меры, являющиеся в целом достаточными для водителей-людей, недостаточны для полноценной организации беспилотного и безостановочного движения, в том числе и потому, что на автомобильных дорогах остаются транспортные средства, управляемые людьми — и это самый серьёзный источник недетерминированности и неопределённости ситуации в среде для ВАС. Повышение уровня автоматизации транспортного средства чуть-чуть снижает уровень недетерминированности поведения агентов на дороге, но не исключает его полностью. К тому же, среда остаётся частично наблюдаемой, какой бы набор сенсоров не использовался в составе ВАС.

Теория МАС даёт важную концепцию, которую можно ис-

пользовать для развития ВАТС. Если рассмотреть всё множество ВАТС на дороге, то оно представляет собой именно МАС. Вместе с тем сами по себе ВАТС — это отдельные, автономные единицы, и множество таких транспортных средств представляет собой лишь простую совокупность агентов. В такой простой совокупности не возникает эмерджентных эффектов, которые возникают в МАС тогда, когда агенты взаимодействуют между собой. Другими словами, если МАС состоит из взаимодействующих друг с другом агентов, то такая МАС обладает намного большим разнообразием, чем простая совокупность невзаимодействующих агентов.

Вместе с тем разработка ВАТС предполагает возможность организации взаимодействия между подключённым автомобилем и другими агентами на автомобильной дороге и дорожной инфраструктуре. Все типы таких взаимодействий объединяют под названием «V2X-взаимодействие», от английского выражения «vehicle to everything» — «автомобиль со всем, что вокруг» [Kiela et al., 2020]. В современной практике выделяют следующие типы V2X- взаимодействий:

V2V — взаимодействие автомобилей друг с другом (V = vehicle, англ. «автомобиль»). Обычно такое взаимодействие осуществляется напрямую, но в некоторых случаях взаимодействие может происходить через пиринговую сеть VANET [Kugali & Kadadevar, 2020], либо через центральную систему управления по схеме V2C+C2V.

V2C и **C2V** — взаимодействие подключённого автомобиля с центральной системой управления (C = center, англ. «центр»). Если есть связь с общей сетью передачи данных, то взаимодействие с центральной системой управления позволяет как получать и передавать значимую информацию для конкретного транспортного средства, так и осуществлять все остальные типы взаимодействия через центр. В этом случае центральная система управления выступает V2X-платформой, транспортной средой, в которой и благодаря которой осуществляется взаимодействие, а также происходят все низкоуровневые технологические операции, типа контроля доступа, журналирования, информационного аудита и т. д.

V2I и **I2V** — взаимодействие транспортного средства с элементами инфраструктуры, обычно периферийным оборудованием ИТС (I = infrastructure, англ. «инфраструктура»). Один из важнейших типов прямого взаимодействия, когда подключённый автомобиль получает важную информацию непосредственно от технических средств организации дорожного движения (ТСОДД). В этом типе взаимодействия может быть огромное количество сценариев того, как движение оптимизируется из-за самого факта наличия такого взаимодействия. Ну и автомобили также могут передавать элементам ТСОДД разнообразную информацию, в том числе и для передачи далее в рамках организации VANET. То есть элементы ТСОДД также могут выступать узлами VANET.

V2P и **P2V** — это варианты взаимодействия автомобиля

с устройствами пешеходов и пассажиров ($P = \text{pedestrian}$ или passenger , англ. «пешеход» или «пассажир» соответственно). В основном это взаимодействие носит характер информационного оповещения людей, использующих транспорт, однако могут быть сценарии, когда, например, устройство пешехода оповещает приближающееся ВАТС о наличии человека на проезжей части. Другим примером такого класса взаимодействий может быть целеуказание для ВАТС с пассажирского гаджета.

V2D и **D2V** — наконец, это вариант двухстороннего взаимодействия с произвольными устройствами, не входящими в предыдущие классы ($D = \text{device}$, англ. «устройство»). Например, это могут быть периферийные устройства иных систем, располагающихся в непосредственной близости от автомобильной дороги. Обычно этот тип взаимодействия предназначен для организации стабильных VANET.

V2G — по объективной необходимости ВАТС является электромобилем, и этот тип взаимодействия предполагает непосредственное взаимодействие ВАТС с электроснабжающей сетью ($G = \text{grid}$, англ. «сеть», обычно имеется в виду сеть электроснабжения). Это довольно экзотический тип взаимодействий, который на практике не используется для организации многоагентной системы.

V2N — это также экзотический тип взаимодействия, при котором ВАТС взаимодействует непосредственно с сетью передачи данных как актором ($N = \text{network}$, англ. «сеть»,

и здесь имеется в виду именно сеть передачи данных). Под этим типом взаимодействия имеются в виду технологические низкоуровневые транзакции, которые обеспечивают сам факт подключения ВАТС к сети. Этот тип V2X-взаимодействия также не используется для организации МАС.

Все эти типы взаимодействия между агентами, функционирующими в рамках дорожного движения и дорожной деятельности, могут использоваться для создания эмерджентных эффектов в рамках многоагентной ИТС. В этом случае такая многоагентная ИТС может быть названа «кооперативной», поскольку взаимодействие агентов направлено на достижение общих целей ИТС. В качестве примера такой цели, которая может входить в противоречие с частными целями каждого конкретного ВАТС и других агентов, можно привести задачу достижения системного равновесия на улично-дорожной сети населённого пункта [Lien et al., 2019].

Важно отметить, что новые технологии открывают новые возможности по организации и управления дорожным движением с использованием ВАТС. Автоматизация старого порядка приводит только к тому, что остаётся старый порядок, только автоматизированный. Однако при использовании средств автоматизации всегда необходимо искать возможности по решению новых задач [Глушков, 1972].

В качестве примеров такой автоматизации новых задач можно привести следующие варианты применения V2X-взаимодействия:

Организация VANET. Сеть VANET — это пиринговая (одноранговая) автономная сеть передачи данных, которая может динамически создаваться на основе подключающихся друг к другу устройств, физически разнесённых в пространстве. Предназначением такой сети может быть как информационный обмен между подключёнными устройствами, так и организация передачи данных от устройства, у которого нет прямого доступа к общей сети связи. Таким образом, если у конкретного ВАТС нет связи с общей сетью и, соответственно, недоступно V2C-взаимодействие, то такое ВАТС может передать своё сообщение в центр через VANET-сеть из ближайших автомобилей и других устройств таким образом, чтобы сообщение попало в центральную систему управления через транспортное средство, которое в текущий момент имеет связь с общей сетью.

Общий старт со светофора. Одним из аспектов движения транспортного потока через светофорный объект является то, что при включении разрешающего сигнала светофора каждый автомобиль стартует с небольшой задержкой после того, как стартовал автомобиль перед ним. Это приводит к тому, что транспортный поток движется как растягивающаяся пружина. Однако если бы все автомобили стартовали одновременно при включении разрешающего сигнала, то транспортный поток двигался бы как единое целое, что серьёзным образом увеличило бы пропускную способность светофорного объекта. В случае водителей-людей это, тем не

менее, снизило бы общий уровень безопасности дорожного движения, так как в идеале при наборе скорости дистанция между транспортными средствами не увеличивалась бы. Тем не менее при функционировании ВАТС вопрос реакции на возникающие проблемы не стоит так остро, как в случае водителя-человека, поэтому для ВАТС возможно организовать общий старт со светофора. В этом случае светофорный контроллер рассылает синхронизирующие сигналы (I2V-взаимодействие), а стоящие в очереди ВАТС осуществляют переговоры друг с другом (V2V-взаимодействие), определяя точное время старта каждого автомобиля так, чтобы учесть его физические особенности, обеспечить безопасность движения и повысить пропускную способность светофорного объекта.

Обгон на трассе. На межмуниципальных, региональных и федеральных автомобильных дорогах с интенсивным движением пассажирский ВАТС может ехать за медленно перемещающимся грузовым транспортным средством. Для качественного оказания услуг пассажиру ВАТС может принять решение осуществить обгон по встречной полосе, однако грузовой автомобиль впереди мешает системам компьютерного зрения и лидарам ВАТС получить текущее описание сцены для принятия решения и осуществления безопасного манёвра. В этом случае легковое ВАТС подаёт сигнал впереди едущему грузовику о намерении обгона, а грузовик сообщает ему текущее описание наблюдаемой дорожной обстановки.

новки в динамике. Это позволяет обгоняющему автомобилю корректно принять решение и совершить безопасный манёвр, тем самым обеспечив безопасное и качественное оказание транспортной услуги своему пассажиру.

Одной из главных задач многоагентной ИТС является организация так называемого безостановочного движения, когда транспортное средство ни разу не останавливается на маршруте своего следования от точки старта к месту назначения. Это вполне можно осуществить, если все 100 % автомобилей на дорогах общего пользования будут именно ВАТС (впрочем, это не относится к наземному транспорту, который должен останавливаться на остановочных пунктах). Безостановочное движение позволит существенным образом улучшить все показатели дорожного движения, как прямые (например, уровень транспортного обслуживания), так и косвенные (например, экологические показатели).

Необходимо отметить, что любой тип транзакции в рамках V2X-взаимодействия должен использоваться в рамках некоторого сценария. Осуществлять взаимодействие между агентами МАС только ради самого взаимодействия решительно нет никакого смысла. Поэтому одной из главных задач архитектора или инженера, который проектирует многоагентную ИТС, является разработка сценариев V2X-взаимодействия для решения текущих и новых задач в рамках организации и управления дорожным движением и дорожно-транспортной деятельностью. Только подобный сценарный подход позво-

лит проявить те самые эмерджентные эффекты от использования множества взаимодействующих агентов в рамках автомобильной ИТС.

Тема настоящей работы является, в целом, открытой — в ней большое число белых пятен, которые ещё ждут своих внимательных исследователей. Однако будущее стремительно наступает, и поэтому научно-исследовательские и прикладные работы в этом направлении необходимо интенсифицировать. Более того, необходимо готовить специалистов-транспортников, транспортных инженеров, проектировщиков и аналитиков, которые будут понимать будущие проблемы беспилотного транспорта и V2X-взаимодействия в рамках многоагентной ИТС. В связи с этим автор приглашает заинтересованных специалистов к работе над методическим пособием по проектированию и разработке V2X-взаимодействия и многоагентных транспортных систем.

Библиография

Galar D., Kumar U., Seneviratne D. (2020) Development of Autonomous Vehicles // In book: Robots, Drones, UAVs and UGVs for Operation and Maintenance. — May 2020. — DOI: 10.1201/9780429452260-2.

Kiela K., Jurgo M., Navickas R. (2020) Structure of V2X-IoT framework for ITS applications / 2020 43rd International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). — Romualdas Navickas's Lab, July 2020. — DOI: 10.1109/TSP49548.2020.9163539.

Kugali S., Kadadevar S, (2020) Vehicular ADHOC Network (VANET): A Brief Knowledge // International Journal of Engineering and Technical Research, № 9(6), June 2020. — DOI: 10.17577/IJERTV9IS060784.

Lien J. W., Mazalov V., Zheng J. (2019) Pricing equilibrium of transportation systems with behavioral commuters // Journal of Dynamics & Games, January 2019. — DOI: 10.3934/jdg.2020026.

Глушков В. М. (1972) Введение в АСУ. — Киев: Техника, 1972. — 312 с.

Жанказиев С. В., Воробьёв А. И., Морозов Д. Ю. (2016) Тенденции развития автономных интеллектуальных транспортных систем в России // Транспорт РФ. 2016. №5 (66). С. 26-28.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.