

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИЦ ИУ РАН,
академик РАН




И. А. Соколов

«28» ноября 2023 г.

О Т З Ы В

ведущей организации Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» на диссертацию Агафонова Антона Александровича «Методы и алгоритмы обработки гетерогенной информации и адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Актуальность темы

Диссертация Агафонова А.А. посвящена разработке методов, алгоритмов и программных средств, направленных на решение проблемы повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры путем управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств, а также движением отдельных транспортных средств в кооперативных интеллектуальных транспортных системах.

Входящий № 205-9373
Дата 01 ДЕК 2023
Самарский университет

В Российской Федерации, как и во многих других странах, транспорт является одной из основополагающих отраслей экономики и неотъемлемой частью производственной и социальной инфраструктуры. Объективно, рост дорожного трафика, вызванный ростом автомобильного парка, ведет к значительному увеличению затрат – времени и стоимости – на осуществление корреспонденций участниками дорожного движения. Это также приводит к увеличению вредных выбросов в атмосферу и ухудшению экологической обстановки. Как следствие, задача повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры является одной из наиболее актуальных задач в транспортных сетях. В настоящее время разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) является ключевым способом повышения эффективности использования дорожно-транспортной инфраструктуры. ИТС предназначены для решения задач в различных транспортных областях, таких как управление транспортными потоками, планирование маршрутов движения общественного транспорта, разработка навигационных и логистических сервисов и т.д.

Одной из современных тенденций является развитие информационно-коммуникационных технологий и их проникновение в различные сферы жизни человека. Развитие интернета вещей, автомобильных самоорганизующихся сетей (VANET), подключенных и автономных транспортных средств привело к увеличению объема разнородных данных, которые могут использоваться для повышения эффективности решения задач краткосрочного прогнозирования, директивного и косвенного управления транспортным потоком: данные с камер видеонаблюдения на перекрестках и детекторов транспортного потока, траектории движения транспортных средств из навигационных приложений, информация о маршруте, положении и скорости движения подключенных и автономных транспортных средств и т.д. Другой современной тенденцией является развитие вычислительных мощностей и, как следствие, активное развитие методов машинного обучения, аппарата глубоких нейронных сетей, а

также методов обработки «больших данных», в т.ч. для решения задач анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком.

С учетом этих факторов можно говорить о необходимости разработки кооперативных ИТС, которые используют коммуникационные и информационные технологии для улучшения транспортных систем, позволяя транспортным средствам, дорожной инфраструктуре и другим участникам дорожного движения взаимодействовать и обмениваться информацией в режиме реального времени. Использование этой информации позволит точнее оценивать характеристики транспортного потока, с большей точностью прогнозировать параметры транспортного потока и время прибытия отдельных транспортных средств, а также повысить эффективность решения задач управления транспортным потоком, снижая уровень дорожных заторов, потребление топлива и повышая эффективность использования транспортной инфраструктуры в целом. Учитывая сказанное, диссертационная работа Агафонова А.А. является актуальной как в научном, так и в практическом плане.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Среди новых научных результатов, полученных в диссертационной работе Агафонова А.А., отметим следующие:

1) предложены математический метод и алгоритмы решения задачи краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока в транспортной сети с использованием графовых сверточных нейронных сетей и подходов к обработке больших данных на основе гетерогенной информации о состоянии транспортного потока и движении отдельных транспортных средств, отличающийся от известных повышенной точностью.

2) предложены математические методы и алгоритм решения задачи директивного управления транспортным потоком, позволяющие снизить среднее время транспортных корреспонденций и средний расход топлива по сравнению с известными методами, включая:

- метод адаптивного светофорного управления транспортным потоком на основе максимизации взвешенного потока транспортных средств с использованием алгоритмов оценки транспортного потока на основе детерминированной модели прогнозирования движения транспортных средств (не требующей настройки/обучения) и на основе обучаемой модели глубокой нейронной сети регрессионного вида;
- алгоритм адаптивного светофорного управления транспортным потоком с использованием подхода на основе машинного обучения с подкреплением, учитывающий как наблюдаемые, так и прогнозные параметры, описывающие состояние транспортного потока;
- метод адаптивного управления транспортным потоком на регулируемых перекрестках путем координированного управления сигналами светофоров и траекториями движения подключенных автономных транспортных средств в транспортной сети;

3) предложен алгоритмы решения задачи косвенного управления транспортным потоком и информирования участников дорожного движения:

- алгоритм определения надёжного пути в зависящей от времени стохастической (транспортной) сети, учитывающий информацию о пространственной и временной корреляции сегментов дорожной сети, текущую и прогнозную информацию о состоянии транспортного потока; ускоренная модификация алгоритма с использованием распределения Леви, отличающаяся от известных алгоритмов повышенной производительностью;
- алгоритмы краткосрочного прогнозирования времени движения отдельных транспортных средств, учитывающие гетерогенную информацию о транспортной ситуации, прямо или косвенно влияющую на прогнозируемое время движения, отличающиеся от известных алгоритмов повышенной точностью;

– алгоритм маршрутизации подключенных транспортных средств в транспортной сети на основе численного метода резервирования маршрутов, учитывающий стохастические свойства транспортной сети; модификация алгоритма для его применения в гетерогенном транспортном потоке;

4) разработана архитектура и реализован программный комплекс кооперативной ИТС, решающей задачи анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств с использованием подходов к обработке больших данных.

Степень обоснованности и достоверности каждого из полученных положений, выводов и заключений, содержащихся в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, основаны на использовании теоретически обоснованных и практически проверенных методов машинного обучения, регрессионного анализа, теории вероятностей и статистического анализа. Автор корректно использует научные методы, приводит обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью математических выкладок, согласованностью между теоретическими выводами и результатами численных экспериментов. Представленные в работе результаты и выводы не противоречат результатам, полученным другими авторами.

В диссертации разработаны методы и алгоритмы анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств. Разработанные в диссертации алгоритмические средства применимы для повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры путем управления гетерогенным транспортным потоком, а также движением отдельных транспортных средств в кооперативных интеллектуальных транспортных системах.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке и реализации программного комплекса кооперативной интеллектуальной транспортной системы с использованием технологий обработки больших данных, что подтверждается полученными актами об использовании результатов диссертации.

Все основные результаты диссертационной работы отражены в публикациях Агафонова Антона Александровича, включая 57 работ в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science (WoS), получено 8 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ. Автореферат отражает содержание диссертации.

Анализ содержания диссертационного исследования

Диссертационная работа Агафонова А. А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (427 наименований). Работа изложена на 397 страницах, содержит 179 рисунков, 44 таблиц.

Во введении кратко рассмотрена актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель и задачи исследования, определена научная новизна работы, а также представлены выносимые на защиту результаты.

Первая глава диссертации содержит анализ современных тенденций развития автомобильной отрасли и задач, решаемых в современных интеллектуальных транспортных системах. Проведен анализ существующих научных подходов, посвященных решению задач анализа и прогнозирования транспортного потока, директивного и косвенного управления транспортным потоком, а также задач информирования участников дорожного движения, рассматриваемых в рамках интеллектуальных транспортных систем. На основании проведенного обзора выявлены недостатки существующих решений и проведена конкретизация области исследования, определена цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава диссертации посвящена разработке методов и алгоритмов

решения задач анализа и прогнозирования гетерогенного транспортного потоков с использованием как традиционных данных (усредненные значения скорости/плотности, данные с видеокамер на перекрестках), так и данных от подключенных транспортных средств. Приведена постановка задачи, определен состав и содержание имеющейся актуальной информации. Предложены алгоритмы краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока с использованием подходов к обработке больших данных и аппарата графовых сверточных нейронных сетей, а также метод прогнозирования гетерогенного транспортного потока, состоящего из подключенных и управляемых водителем транспортных средств. Проведены экспериментальные исследования предложенных решений, подтвердившие эффективность предложенных подходов.

Третья глава диссертации посвящена разработке методов и алгоритмов решения задач директивного управления транспортным потоком на регулируемых светофорами перекрестках. Введены основные обозначения, рассмотрена задача адаптивного управления сигналами светофорных объектов как проблема обучения с подкреплением, в качестве факторов, описывающих пространство состояний, рассматриваются как наблюдаемые, так и прогнозные параметры, описывающие состояние транспортного потока. Далее предложен метод адаптивного управления сигналами светофорных объектов на основе модельно-предикативного управления. Предложенный метод обобщается для случая гетерогенного транспортного потока (включающего подключенные и управляемые водителями транспортные средства). В заключительной части раздела решается задача согласованного управления сигналами светофорных объектов и траекториями движения подключенных автономных транспортных средств. Приводится экспериментальное исследование разработанных методов и алгоритмов и сравнение эффективности полученных решений с современными подходами в системе микроскопического моделирования движения транспортных средств, подтвердившее эффективность разработанных решений.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке алгоритмов решения задач косвенного управления транспортным потоком и информирования участников дорожного движения посредством предоставления информации о маршрутах и условиях движения. Предложены алгоритмы решения задачи краткосрочного прогнозирования движения отдельных транспортных средств, задачи нахождения надежного пути в стохастической зависящей от времени транспортной сети, а также задачи маршрутизации транспортных средств. Приводится экспериментальное исследование разработанных алгоритмов на реальных данных и в системе моделирования, подтвердившее эффективность предложенных решений по сравнению с базовыми подходами.

Пятая глава посвящена разработке архитектуры и реализации программного комплекса кооперативной интеллектуальной транспортной системы, решающей задачи анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств с использованием подходов к обработке больших данных. Описаны программные модули, входящие в состав программного комплекса, а также программный интерфейс взаимодействия серверной части программного комплекса с клиентскими приложениями.

В заключении обобщаются основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Автореферат в полной мере отражает содержание и основные положения диссертационного исследования. Диссертация написана грамотным литературным языком с ясным стилем изложения.

Замечания по содержанию диссертации

- 1) Экспериментальные исследования метода краткосрочного прогнозирования смешанного транспортного потока, а также методов и алгоритмов директивного управления транспортным потоком,

проводились только в сценарии моделирования движения, хотелось бы получить результаты экспериментов также на реальных данных.

- 2) Отсутствует анализ полученных стратегий с точки зрения их близости к оптимальным стратегиям.
- 3) Многие вопросы описаны излишне подробно, например, приведенные в главе 5 скрин-шоты диалогов реализованных приложений однотипны и не дают новой информации о реализованном программном обеспечении.
- 4) Однако выбор технологий, используемых для реализации разработанного программного обеспечения, обоснован недостаточно полно.
- 5) В работе отсутствуют результаты, свидетельствующие о повышении эффективности работы организаций после внедрения разработанного соискателем программного обеспечения.

Заключение

Диссертация Агафонова А. А. «Методы и алгоритмы обработки гетерогенной информации и адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе» представляет собой самостоятельное, четко структурированное научное исследование и является завершенной научно-квалификационной работой. Основные выводы и результаты работы обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость.

Диссертация Агафонова А. А. по выбранной теме, характеру проведенных исследований, полученным результатам соответствует специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней от 24.09.2013 № 842 в редакции от 26.10.2023), в работе изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны в части разработки интеллектуальных транспортных систем, направленных на повышение эффективности использования транспортной инфраструктуры.

Таким образом, Агафонов А.А., заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Отзыв на диссертацию обсуждён и утвержден на расширенном научном семинаре отделения № 9 ФИЦ «Информатика и управление» РАН «27» ноября 2023 г., протокол № 3.

г.н.с, отдела 92 ФИЦ ИУ РАН,
д.т.н., доц.



О. А. Славин

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»,

Почтовый адрес: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, к. 2

Телефон: +7 (495) 135-62-60

Адрес электронной почты: frccsc@frccsc.ru

Web-сайт организации: <http://www.frccsc.ru>