

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Агафонова Антона Александровича «Методы и алгоритмы обработки гетерогенной информации и адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

1. Актуальность тематики диссертации:

Существующие тенденции развития транспортных систем показывают постоянный рост дорожных заторов, что приводит к значительному увеличению транспортных расходов (времени в пути и расхода топлива) и выбросов в окружающую среду. Хотя проектирование «с нуля» городской/областной транспортной инфраструктуры позволяет решать комплексные задачи управления максимально эффективно (начав с проектирования мест проживания и работы, обеспечив тем самым управление масштабами транспортного спроса и предложения на территориях, выполнив проектирование транспортных потоков, и т.п.), дороговизна, а порой и принципиальная невозможность изменения существующей транспортной топологии и жилой инфраструктуры делает значительно более важным решение прагматичной задачи – оптимизации движения транспортных средств в рамках существующей инфраструктуры. Как следствие, становится актуальным решение задач управления транспортными потоками, поскольку их решение допускает быстрое и относительно недорогое внедрение в существующую транспортную инфраструктуру при значительном (как правило в разы) росте ее эффективности (увеличению пропускной способности, снижению затрат топлива и т.п.). Развитие информационно-коммуникационных технологий, интернета вещей, подключенных и автономных транспортных средств, сетей VANET приводит к увеличению объема данных, которые могут использоваться для решения задач анализа, прогнозирования и управления, а также делает актуальным разработку новых методов решения этих задач. В настоящее время под подключенными транспортными средствами можно условно понимать транспортные средства с навигаторами, которые передают информацию о своем положении и скорости для следования по маршруту движения. Диссертация Агафонова А.А. посвящена разработке методов и алгоритмов решения задач директивного и косвенного управления гетерогенным транспортным потоком, состоящем из подключенных и управляемых водителями транспортных средств.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (427 наименований). Работа изложена на 397 страницах и содержит 179 рисунков.

Первая глава посвящена обзору современного состояния исследования решения задач анализа, прогнозирования и эффективного управления транспортным потоком с гетерогенной структурой, включающему подключенные и управляемые водителями транспортные средства. Выделены современные тенденции развития интеллектуальных

Входящий № *д06-83-78*
Дата 10 НОЯ 2023
Самарский университет

транспортных систем. На основании проведенного обзора сформулирована цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе рассматривается задача анализа и прогнозирования транспортного потока с использованием гетерогенной информации о состоянии потока и движении подключенных транспортных средств. В рамках решения данной задачи были разработаны: алгоритм прогнозирования с использованием подхода к обработке больших данных, алгоритм прогнозирования на основе графовой сверточной нейронной сети и метод прогнозирования гетерогенного транспортного потока. Проведено экспериментальное исследование алгоритмов на реальных данных и в системе моделирования транспортных средств, подтвердившее эффективность разработанных решений по сравнению со state-of-the-art методами решения задачи прогнозирования.

В третьей главе рассматривается задача директивного управления транспортным потоком, т.е. управления, предполагающего однозначность принятия решения участниками дорожного движения в соответствии с оказанным управляющим воздействием, подчинение которому регламентируется правилами дорожного движения. Предложены алгоритмы управления транспортным потоком путем адаптивного управления сигналами светофорных объектов на основе метода машинного обучения с подкреплением и на основе подхода модельно-предикативного управления с использованием прогнозной информации о движении транспортных средств. Далее предложен метод совместного управления траекториями движения автономных транспортных средств и сигналами светофорных объектов, применимый, в т.ч., в среде с гетерогенным транспортным потоком. Экспериментальные исследования в среде моделирования показывают, что предложенные методы позволяют снизить средний расход топлива и среднее время движения по сравнению со state-of-the-art методами решения задачи адаптивного управления светофорными объектами.

Четвертая глава диссертации посвящена решению задачи косвенного управления транспортным потоком, т.е. управления транспортным потоком через управление мотивацией участников дорожного движения посредством предоставления информации. В первую очередь косвенное управление обеспечивается через предоставление информации о вариантах маршрутов движения. Для этого предложены алгоритмы нахождения надежного маршрута движения, максимизирующего вероятность прибытия в пункт назначения в течение заранее определенного интервала, а также алгоритмы маршрутизации транспортных средств в сети. Кроме того, разработаны алгоритмы информирования участников движения об условиях движения путем прогнозирования времени движения отдельных транспортных средств. Экспериментальные исследования на натуральных данных и в системе моделирования подтвердили эффективность разработанных решений.

Заключительная глава описывает архитектуру разработанного программного комплекса кооперативной интеллектуальной транспортной системы с использованием

подходов к обработке больших данных и методов машинного обучения, а также состав основных модулей, входящих в состав программного комплекса.

2. Научная новизна выносимых на защиту результатов:

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

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.
2. Предложены математический метод и алгоритмы решения задачи директивного управления транспортным потоком, включая метод адаптивного светофорного управления транспортным потоком на основе максимизации взвешенного потока транспортных средств, алгоритм адаптивного светофорного управления с использованием подхода на основе машинного обучения с подкреплением, метод координированного управления сигналами светофоров и траекториями движениям подключенных автономных транспортных средств.
3. Предложены алгоритмы решения задачи косвенного управления транспортным потоком и информирования участников дорожного движения в интеллектуальных транспортных системах, включая алгоритм определения надёжного пути в зависящей от времени стохастической (транспортной) сети, алгоритмы краткосрочного прогнозирования времени движения отдельных транспортных средств, алгоритм маршрутизации подключенных транспортных средств в транспортной сети на основе численного метода резервирования маршрутов.
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.

Все перечисленные результаты являются новыми и получены соискателем.

3. Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы:

В диссертации разработаны математические методы и алгоритмы решения задач анализа, прогнозирования, управления транспортным потоком и движением отдельных транспортных средств, отличающиеся от известных повышенной точностью, эффективностью и производительностью. Практическая значимость диссертационной

работы подтверждается использованием результатов в составе программного обеспечения интернет-портала Транспортного оператора Самары и АО «Самара-Информспутник».

4. Обоснованность и достоверность положений, выносимых на защиту:

Обоснованность и достоверность положений, выводов и заключений, содержащихся в диссертационной работе, основывается на использовании теоретически обоснованных и практически проверенных методов машинного обучения и искусственного интеллекта, теории вероятностей и статистического анализа, теории графов. Достоверность предложенных математических моделей, методов и алгоритмов подтверждается результатами экспериментальных исследований на модельных и натуральных данных, которые показывают их высокое качество и скорость работы.

5. Полнота опубликования основных результатов диссертации в рецензируемых научных изданиях:

Основные результаты представленной диссертации опубликованы в полном объеме в соответствии с требованиями Положения. Результаты представлены в 75 печатных работах, 57 из которых индексируются на платформах Web of Science и Scopus, в т.ч. 3 работы опубликованы в изданиях с квартилями Q1 JCR и K1 ВАК. Результаты диссертационной работы обсуждались на российских и международных конференциях.

6. Вопросы и замечания:

1. Возможно, для решения задачи прогнозирования динамики транспортного потока стоило рассмотреть использование математических моделей транспортных потоков, в т.ч. построения матриц корреспонденций и распределения транспортных потоков.
2. При решении задачи управления сигналами светофоров в явном виде не рассматривалась задача координированного управления светофорами в некоторой области для достижения согласованного порядка включения фаз по принципу "зеленой волны".
3. Не аргументировано, почему выбрана постановка задачи управления сигналами светофоров, заключающаяся в выборе новой фазы на каждом шаге управления. Отсутствие цикличности в наборе фаз может быть неудобным для участников дорожного движения.
4. В диссертационной работе недостаточно формализовано, что именно автор понимает под косвенным управлением транспортным потоком.
5. Выбор распределения Леви в качестве аппроксимации времени продвижения по маршруту при нахождении надежного кратчайшего пути (п 4.2.3) не мотивирован.

представляется странным, так как случайная величина с этим распределением не имеет конечного математического ожидания.

Указанные замечания не снижают значимости представленной диссертационной работы.

7. Общая характеристика диссертации:

Диссертационная работа Агафонова А.А. «Методы и алгоритмы обработки гетерогенной информации и адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе» является завершенным научным исследованием, соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям (пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней от 24.09.2013 № 842 в редакции от 18.03.2023), и паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по этой специальности.

Официальный оппонент:

Заведующий лабораторией математических методов оптимизации, заведующий кафедрой математических основ управления Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)",

(141701, Россия, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.)

доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, профессор

e-mail: gasnikov@yandex.ru

тел.: +7 (495) 408-72-90

Гасников Александр Владимирович

03.11.2023

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ:
/ АДМИНИСТРАТОР КАНЦЕЛЯРИИ
/ АДМИНИСТРАТИВНОГО ОТДЕЛА
/ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

