

## О Т З Ы В

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 темы диссертационной работы

Эффективное управление трафиком в условиях крупного мегаполиса продолжает оставаться актуальной задачей, решение которой необходимо для повышения городской мобильности за счет снижения уровня дорожных заторов, уменьшения времени пути, повышения безопасности движения, а также снижения вредного воздействия на окружающую среду. Разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем является одним из ключевых способов повышения эффективности использования дорожно-транспортной инфраструктуры. В то же время развитие подключенных и автономных транспортных средств позволяет использовать более точную информацию о движении транспортных средств в реальном времени для решения задач анализа, прогнозирования и управления в транспортных сетях. Диссертационная работа Агафонова А.А. посвящена разработке кооперативной интеллектуальной транспортной системы, решающей задачи анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств, включающим подключенные и/или автономные транспортные средства и управляемые водителями транспортные средства. При этом основное внимание уделено разработке методов и алгоритмов решению задачи управления транспортным потоком с использованием прогнозной информации о состоянии гетерогенного транспортного потока.

Диссертация Агафонова А.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (427 наименований).

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи диссертации, изложены основные результаты и обоснована их научная новизна, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ существующих научных подходов, посвященных решению задач анализа и прогнозирования транспортного потока, директивного управления транспортным потоком, а также задач косвенного управления транспортным потоком и задач информирования, рассматриваемых в рамках интеллектуальных транспортных систем. На основании проведенного обзора выявлены недостатки существующих решений и проведена конкретизация области исследования, определены цели и задачи диссертационной работы.

Во второй главе решается задача анализа и краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока с использованием гетерогенной информации о состоянии

Входящий № 206-9342  
Дата 04 ДЕК 2023  
Самарский университет

транспортного потока, включающей как традиционные данные (усредненные значения скорости/плотности, данные с видеокамер на перекрестках), так и данные от подключенных транспортных средств. Приведена постановка задачи, определен состав и содержание имеющейся актуальной информации. Представлен алгоритмы краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока с использованием подхода к обработке больших данных, а также с использованием графовой сверточной нейронной сети для повышения точности прогноза. Проведены экспериментальные исследования, подтвердившие эффективность предложенных решений на натуральных и модельных данных.

Третья глава диссертации посвящена решению задачи директивного управления транспортным потоком на регулируемых светофорами перекрестках. Введены основные обозначения, рассмотрена задача адаптивного управления сигналами светофорных объектов как проблема обучения с подкреплением. Далее описан разработанный подход к адаптивному управлению сигналами светофорных объектов, основанный на максимизации обобщенного потока транспортных средств, проходящих через перекресток за выбранный интервал времени. В заключительной части главы решается задача совместного управления сигналами светофорных объектов и траекториями движения подключенных автономных транспортных средств. Экспериментальное исследование разработанных методов и алгоритмов в системе микроскопического моделирования движения транспортных средств подтвердило эффективность разработанных решений в сравнении с современными подходами.

В четвертой главе диссертационной работы рассматриваются задачи опосредованного управления транспортными потоками и информирования участников дорожного движения, решаемые в интеллектуальных транспортных системах. Рассмотрены задачи прогнозирования движения отдельных транспортных средств, задачи нахождения надежного кратчайшего пути в стохастической зависящей от времени транспортной сети, описаны разработанные алгоритмы маршрутизации подключенных транспортных средств в транспортной сети, а также задачи обеспечения информационной безопасности коммуникаций. Приводится экспериментальное исследование разработанных алгоритмов, подтвердившее эффективность предложенных решений по сравнению с базовыми подходами.

Пятая глава посвящена разработке архитектуры и реализации программного комплекса кооперативной интеллектуальной транспортной системы с использованием алгоритмов обработки больших данных. Описаны программные модули, входящие в состав программного комплекса, а также программный интерфейс взаимодействия серверной части программного комплекса с клиентскими приложениями.

## **2 Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке методов и алгоритмов обработки информации и адаптивного управления в интеллектуальной транспортной системе, позволяющих повысить эффективности использования транспортной инфраструктуры путем директивного и опосредованного управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств. В частности, в диссертации:

- 1) предложены математический метод и алгоритмы решения задачи краткосрочного прогнозирования параметров транспортного потока с использованием гетерогенной информации о состоянии транспортного потока, реализованные с повышенной точностью;
- 2) предложены математический метод и алгоритмы директивного управления транспортным потоком на регулируемом перекрестке, в т.ч., координированного управления сигналами светофоров и траекториями движения подключенных автономных транспортных средств, позволяющие снизить среднее время движения и средний расход топлива по сравнению с известными методами;
- 3) предложены алгоритмы решения задач опосредованного управления транспортным потоком и информирования участников дорожного движения, отличающиеся повышенной точностью и/или производительностью;
- 4) разработана архитектура и выполнена реализация программного комплекса кооперативной интеллектуальной транспортной системы.

## **3 Обоснованность и достоверность положений, выводов и заключений, содержащихся в диссертации**

Приведённые положения, выводы, заключения хорошо обоснованы. Математические выкладки в целом выглядят корректными. Результаты работы, полученные при выполнении вычислительных экспериментов, подтверждают правомерность выводов и работоспособность разработанных алгоритмов.

## **4 Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики**

*Теоретическая значимость* работы состоит в разработке математических моделей, методов и алгоритмов для решения задач анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком и движением отдельных транспортных средств в кооперативных интеллектуальных транспортных системах, позволяющих повысить эффективность решения указанных задач.

*Практическая значимость* работы заключается в разработке и реализации программного комплекса кооперативной интеллектуальной транспортной системы, решающей задачи анализа, прогнозирования и управления транспортным потоком с гетерогенным составом транспортных средств с использованием алгоритмов обработки больших данных. Программный комплекс может использоваться для повышения эффективности использования транспортной инфраструктуры участниками дорожного движения.

## **5 Соответствие автореферата диссертационной работе**

Автореферат диссертации с достаточной полнотой отражает ее содержание.

## **6 Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы**

- 1) Судя по представленным результатам сравнения моделей прогнозирования транспортного потока (таблица 9), предложенная модель на основе графовой нейронной сети немного выигрывает у модели LSTM, но при этом в несколько раз медленнее работает (таблица 10). Отсюда возникает вопрос в целесообразности потери скорости работы модели ради небольшого выигрыша в точности.
- 2) Не обосновано, почему при решении задачи директивного управления транспортным потоком посредством светофорного регулирования не используются текущие измерения траффика, а используется только информация от подключенных транспортных средств.
- 3) В диссертационной работе отсутствуют исследования по оценке времени работы алгоритмов директивного управления транспортным потоком, в т.ч. совместного управления сигналами светофоров и траекториями движения транспортных средств.
- 4) В методе управления на основе максимизации взвешенного транспортного потока (раздел 3.3.2) используемая модель оценки времени достижения перекрестка на основе нейронной сети не учитывает различные типы транспортных средств.
- 5) В разделе 3 при решении задачи адаптивного управления траффиком в ИТС используется произвольное чередование светофорных фаз. Такой метод является более гибким и оптимальным, но плохо реализуемым на практике, поскольку в реальных условиях очередность светофорных фаз является жестко заданной и их порядок не меняется. Менять можно только длительности фаз и как правило в рамках установленных временных интервалов.

