

## ОТЗЫВ

официального оппонента ВАЛУЕВА АНДРЕЯ МИХАЙЛОВИЧА на диссертацию ГОРОДНИЧЕВА М.Г. «Информационные и математические аспекты модели следования за лидером», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики»

Высокая степень автомобилизации в развитых странах и растущая — в России — создает многочисленные проблемы, особенно в мегаполисах и на загруженных автомагистралях. Важнейшими среди них являются аварийность, приводящая к травмированию и гибели людей в ДТП (в некоторые годы превышавшей 30000 человек и снижающейся весьма медленно), порче автомобилей и грузов и нарушениям в дорожном движении, загрязнение атмосферы (особенно при затрудненном движении), огромные временные потери. Преодоление этих проблем путем усовершенствования автомобилей, расширения сети дорог и строительства новых дорожных сооружений недостаточно эффективно, затратно, а во многих случаях и невозможно. Вместе с тем развитие информатики и в особенности информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) создают предпосылки для более эффективного и безопасного управления отдельными автомобилями и транспортными потоками в целом, эффективного использования существующих дорог и развязок.

Существуют и другие проблемные области, к которым может применяться понятие «модель следования за лидером». Это выражение, характеризующее обычно математическое описание движения автомобилей на одной полосе, принципиально применимое и к некоторым другим случаям мотивированного движения «частиц», которыми могут считаться, например, пешеходы. «Динамика эвакуации» — это целое научно-практическое направление, важность которого очевидна как в отношении проектирования крупных общественных сооружений, так и в отношении их использования в период проведения массовых мероприятий. Последние также чреваты катастрофами, как печально знаменитая «ходынка», приведшая к гибели сотен людей (среди которых оказалась и моя прапрабабушка) и ряд событий недавнего времени.

Кандидатская диссертация М.Г. Городничева посвящена разработке научных подходов к созданию ИКТ, которые могут быть использованы в рамках решения отмеченных проблем.

Работа содержит теоретическую часть, направленную на создание замкнутого цикла управления движением цепочки частиц, обеспечивающего безопасное и эффективное перемещение. В качестве практического приложения рассматривается пример одной из самых массовых социально-технических систем — трафика (дорожного движения).

Как отмечено в диссертации, практические средства для автоматизации вождения, увеличивающие безопасность, действительно созданы несколькими ведущими автомобильными компаниями, но они обслуживают лишь оборудованную ими автомашину и никак не учитывают поведение автомобильного потока в целом и, кроме того, в силу своей дороговизны не могут получить широкого распространения. Диссертационная работа основана на другом, комплексном подходе. Поставленная в работе цель реализуется в решении трех типов задач — автоматического детектирования параметров потока в виде цепочки частиц (автомобилей, движущихся по одной полосе), математического моделирования движения такой цепочки и создания основ аппаратно-программной системы — интеллектуального советчика водителя, позволяющей обеспечить безопасное вождение (а в перспективе — реализующей рациональный режим движения целой цепочки).

Первая глава диссертации посвящена автоматизации методов мониторинга цепочки частиц с мотивированным поведением. Концептуально рассматриваются два основных подхода — внешние наблюдения на основе специальных приборов стационарного базирования и мобильный вариант, при котором параметры потока измеряются внутренними средствами (позиционирование, обработка видеопотока, индивидуальная радиолокация).

Разработанные методы реализованы на примере трафика в виде законченной технологии с аппаратным и программным обеспечением.

В прикладной части первой главы здесь представлены методы мониторинга транспортного потока на одной полосе и обработке его результатов. Рассматриваются два способа сбора информации — с помощью микроволнового радара SSHD и интерактивный — с передачей на сервер информации от находящихся в автомобилях смартфонов с GPS-приемниками. Оценена погрешность измерения и обработки его результатов, разработано программное обеспечение для накопления и обработки данных мониторинга.

В части трафик-приложения основная цель работы состояла в получении параметров зависимости расстояния безопасности (до автомобиля-лидера) от скорости следующего за ним автомобиля, которые необходимы для расчета модели движения цепочки автомобилей. Установлено, что 1) эти параметры существенно зависят от состояния окружающей среды, в первую очередь, дорожного покрытия и 2) наблюдаются несколько (от 13 до 16) типов такой зависимости, которые можно связать с манерой вождения. Некоторые средства и методы, разработанные в главе, принципиально могут быть использованы и для других движущихся цепочек с мотивированным поведением.

Вторая глава посвящена математическому моделированию движения цепочки автомобилей, без чего невозможно было бы разработать средства автоматизации вождения. Понятие «модель следования за лидером» введено давно, но до недавнего времени использовалось только по отношению к паре следующих друг за другом автомобилей. В работе предложено развитие этой

модели в модель движения многокомпонентной цепочки. Общая модель безопасного движения не дает однозначного описания, но в предположении «тотально-связного движения», когда расстояние между всеми последовательными автомобилями — минимальное безопасное, такое описание имеет место. В частных, но характерных случаях (с близким к равномерному движению лидера цепочки) обоснована корректность модели и получены расчетные формулы. Для квадратичной функции динамического габарита в модели следования за лидером выявлена взаимосвязь между параметрами системы, при которых цепочка произвольной конечной длины существует с учётом допустимого поведения лидера.

Для широкого класса нелинейных функций безопасного расстояния между элементами цепочки установлены достаточные условия на фазовые ограничения, при которых допустимое движение лидера обеспечивает некритическое состояние цепочки.

Наряду с типичным случаем, когда каждый водитель ориентируется на движение предшествующего автомобиля, введена модель «заднего привода», в которой задано движение последнего автомобиля в цепочке, а водители остальных отвечают за безопасное расстояние от предшествующего. Такое движение без применения инфокоммуникационных технологий едва ли осуществимо, поэтому реализация данной модели движения в большей степени демонстрирует их возможности. Модель исследована на устойчивость. Установлено, что принципиальная разница модели следования за лидером от модели заднего привода состоит в том, что при колебаниях с маленькой амплитудой и большой частотой, в модели заднего привода проявляет неустойчивость, тогда как модель следования за лидером устойчива.

Оценка параметров модели, проведённая в первой главе, и результаты аналитического исследования моделей следования за лидером и заднего привода являются фундаментом для построения системы управления цепочкой частиц с применением инфокоммуникационных технологий, обеспечивающей должный уровень безопасности и оптимизации. Реализации данной системы посвящена третья глава.

В третьей главе представлены реализованные с помощью ИКТ методы управления потоком частиц, основанные на сформулированных во второй главе математических моделях и методах их расчета, позволяющих делать прогноз поведения отдельной частицы и всей цепочки с учетом значений параметров функции расстояния безопасности, получаемых методами, развитыми в первой главе. Для численного расчета движения цепочки, что является преимущественным способом использования предложенных моделей для прогноза, адекватно применены методы вычислительной математики. Разработаны альтернативные методы измерения расстояния между соседними частицами, которые можно использовать наряду с прогнозами по модели. Построенная распределенная компьютерная система, построенная на идеологии «клиент–сервер», применительно к отдельному

водителю выступает как интеллектуальный советчик, дающий рекомендации в наглядной форме.

В результате изучения материалов диссертационной работы можно выделить следующие **новые научные результаты**.

**(I)** На основе имеющихся технических средств создано программное обеспечение для включения мониторинга потока частиц в единую систему «мониторинг — обработка данных — управление».

**(II)** Сформулированы и исследованы математические модели, описывающие характерные режимы движения цепочки частиц. Установлено, что при помощи синхронизации цепочки транспортных средств, движущейся по улично-дорожной сети, на основе полученных моделей и значений их параметров, можно поддерживать высокие требования безопасности. Разработанная система, решающая эту задачу, позволяет оптимизировать размещение частиц (автомобилей) в цепочке.

**(III)** Автоматизация задачи выработки рекомендуемого управления для отдельного автомобиля совместно с использованием разработанной инфокоммуникационной компоненты для связи с окружающими транспортными средствами могут минимизировать безопасное расстояние между автомобилями. Поддержание режима «тотально-связного движения» позволяет повысить пропускную способность участка, и тем самым уменьшить экологическую нагрузку.

#### **Соответствие специальности**

При рассмотрении новизны проведенных автором диссертации исследований и полученных результатов можно констатировать ее соответствие паспорту специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики» по следующим пунктам:

1. Исследование, в том числе с помощью средств вычислительной техники, информационных потребностей коллективных и индивидуальных пользователей.
6. Разработка методов, языков и моделей человеко-машинного общения.
5. Разработка и исследование моделей и алгоритмов анализа данных, обнаружения закономерностей в данных и их извлечения.
8. Исследование и когнитивное моделирование интеллекта, включая моделирование поведения.
15. Исследования и разработка требований к программно-техническим средствам современных телекоммуникационных систем на базе вычислительной техники.

#### **Замечания по диссертационной работе**

Оценивая работу в целом, следует отметить, что она выполнена на высоком научном уровне и во многом имеет новаторский характер. Вместе с тем работе автора присущ и ряд недостатков:

1. Выявленная в главе 1 разнотипность поведения водителей не нашла отражения в моделях, представленных в главе 2, и в их реализации в

рамках системы управления движением цепочки частиц, описанной в главе 3. Не отказываясь от модели однотипного поведения водителей, можно было бы оценить погрешность, вызываемую фактическим разбросом значений параметров зависимости, выражающей безопасное расстояние.

2. При описании расчета движения цепочки частиц в соответствии с введенными моделями в разделе 3.8 не учтена негладкость (в общем случае) зависимости ускорения от времени и не описаны применяемые методы численного решения нелинейных уравнений, из которых определяются скорости или ускорения. Всё это влияет на порядок точности разностных схем Рунге-Кутты, что проигнорировано в формуле (3.11), на основе которой выбирается величина шага интегрирования.
3. Решение «Задачи С» («движение цепочки с дополнительными ограничениями на режимы и динамические габариты...»), в т.ч. для «многоканальных потоков с узким местом — многополосная дорога, стадион и т.д.») лишь продекларировано в разделе 3.8, но не подкреплено соответствующими задачами моделями и ИКТ. Однако следует отметить, что данной теме можно было бы посвятить отдельное научное исследование.
4. В силу комплексности работы не выработан единый язык для описания различных типов научных результатов, например, для теоретической части (теоремы), инженерного проектирования (закономерности) и разработки программного обеспечения (алгоритмы и программные компоненты).
5. Не во всех частях диссертации четко соблюдена граница между употреблением термина «частица» в концептуальных постановках и реально наблюдаемым объектом их приложения к трафику — автомобилем.
6. В тексте диссертации имеется значительное количество грамматических и синтаксических погрешностей.

Следует отметить, однако, что приведенные выше недостатки существенно не снижают качество и достоинства диссертации и не влияют на общую положительную оценку работы.

**Автореферат диссертации** соответствует содержанию работы, а печатные публикации достаточно полно отражают ее основные положения.

### **Заключение**

Диссертация Городничева Михаила Геннадьевича является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научная задача — создание теоретических основ инфокоммуникационного комплекса мониторинг-моделирование-

управление цепочкой частиц с мотивированным поведением, в частности, социально-технической системой.

Работа соответствует номеру специальности 05.13.17 – «Теоретические основы информатики» и требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Городничев Михаил Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент  
доктор физико-математических наук,  
доцент



А.М. Валуев  
07.04.15

Подпись Валуева А.М. удостоверяю:

Ученый секретарь, проф.

В.И. Делян



ПОДПИСАНО  
Проректор  
по общим вопросам  
НИТУ «МИСиС»

ЗАВЕРЯЮ  
И.М. ИСАЕВ

