

На правах рукописи

Лашков

Лашков Игорь Борисович

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА
ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ВОДИТЕЛЯ**

Специальность 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и
компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО).

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Парфенов Владимир Глебович
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (Университет ИТМО)

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Хомоненко Анатолий Дмитриевич
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Заведующий кафедрой «Информационные и вычислительные системы»

Кандидат технических наук, доцент
Попов Сергей Геннадьевич
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», доцент кафедры «Телематика»

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Защита состоится 8 ноября 2018 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.199.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН) по адресу: 199178, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., 39, ауд. 401. Факс: (812)-328- 44-50 Тел: (812)-328-34-11

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по адресу: 199178, Санкт-Петербург, В.О., 14 линия, д. 39 и на сайте <http://www.spiiras.nw.ru/dissovnet/>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2018 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук



Зайцева А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Дорожно-транспортные происшествия (далее ДТП) приносят значительный социально-экономический ущерб, затрагивая здоровье и жизнь людей во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения ежегодно в мире в результате ДТП погибает около 1,25 млн человек и до 50 млн получают не смертельные травмы. По статистике, больше половины несчастных случаев происходит в результате человеческого фактора. Количество ДТП, вызванных состоянием усталости или ослабленного внимания водителя за рулём транспортного средства (далее ТС), с каждым годом растет и приводит к травматизму среди населения во всем мире. В качестве решения данной проблемы научным сообществом был предложен подход к разработке систем активной безопасности, направленные на предотвращение аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя ТС и своевременного оповещения водителя о текущей ситуации за счет генерации ему контекстно-ориентированных рекомендаций.

Таким образом, разработка системы мониторинга поведения водителя, выполняющей определение опасного состояния водителя в кабине ТС и его предупреждение о возможности возникновения аварийной ситуации за счет генерации контекстно-ориентированных рекомендаций с использованием смартфона, является актуальной и востребованной задачей.

Степень разработанности темы. Первые научные исследования по разработке систем мониторинга и предупреждения водителя датируются началом 90-х годов, включая работы зарубежных ученых: Р. Онкен, М. Копф, С. Лаугиер, а также российских ученых: Розенберг Е.Н., Лисенков В.М., Шалягин Д.В., Савченко В.В., Дементенко В.В. Развитию методологических основ создания систем активной безопасности, направленных на предотвращение дорожно-транспортных происшествий, анализирующих поведение водителя, послужили труды российских и зарубежных ученых: Покровский Ю.Ю., Ремнев К.С., Рябчинский А.И., Кисуленко Б.В., Юрген Р.К., Вирвилле В.В., В. Энкельман, В. Генгенбах, М. Пальмер, В. Толле, А. Алоум, А. Чарара, М. Ромбаут. Вопросы компьютерной обработки изображений рассмотрены в работах ученых: Д.Ф. Дингес, Р. Грейс, Фурсов В.А., Бибииков С.А., Якимов П.Ю., Сойфер В.А., Арлазаров В.Л., Александров В.В. Вклад в развитие теории управления знаниями внесли русские ученые: Гаврилова Т.А., Смирнов А.В., Городецкий В.И., Хорошевский В.Ф., Ефименко И.В., Кудрявцев Д.В., Григорьев Л.Ю., Смирнов С.В. Также заделом для диссертационного исследования послужили работы Парфенова В.Г., Шальто А.А., Геппенера В.В.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности системы мониторинга поведения водителя за счет разработки моделей и алгоритмов предупреждения аварийных ситуаций в кабине транспортного средства и генерации контекстно-ориентированных рекомендаций с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона.

Для достижения поставленной цели в работе предлагается решение следующих **задач**:

1. Анализ результатов исследований в области систем активной безопасности на основе мониторинга поведения водителя и формулировка основных требований к ним, а также принципов их построения.

2. Разработка контекстно-ориентированного подхода к построению распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга водителя, учитывающего текущий контекст о водителе и транспортном средстве.

3. Разработка информационной модели профиля водителя, онтологической и сценарной модели распределенной системы предупреждения аварийных ситуациях, учитывающие сформулированные требования и принципы ее построения.

4. Разработка алгоритмов распознавания опасных состояний усталости и ослабленного внимания водителя во время движения транспортного средства и генерации ему персонализированных рекомендаций на основе информации с фронтальной камеры и сенсоров смартфона о текущей ситуации, в которой находится водитель и транспортное

средство и алгоритма группирования водителей и формирования их поведенческих паттернов со схожим стилем вождения и поведением на дороге с целью персонализации их взаимодействия с системой предупреждения аварийных ситуаций водителя транспортного средства.

5. Апробация предложенных моделей и алгоритмов путем создания прототипа программного комплекса для распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе мониторинга водителя транспортного средства во время движения.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработан контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций для генерации рекомендаций водителю транспортного средства, ориентированных на привлечение внимания водителя и принятие им мер для предотвращения наступления аварийной ситуации на дороге общего пользования, с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона, отличающийся возможностью обучения в процессе ее использования за счет анализа и кластеризации профилей водителей и выделения их паттернов поведения в кабине транспортного средства.

2. Предложены онтологическая модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, информационная модель профиля водителя и сценарная модель распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, ориентированные на накопление, анализ и классификацию статической и динамической информации в кабине транспортного средства и описывающие варианты использования системы, отличающиеся возможностью генерации контекстно-ориентированных персонализированных рекомендаций, а также мониторинга и анализа поездок водителей.

3. Предложена архитектура распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителю транспортного средства при помощи смартфона, отличающаяся использованием облачного сервиса для накопления и анализа статистики использования программного комплекса и информации о водителях, а также группирования водителей на основе их стиля вождения.

4. Разработаны алгоритмы распознавания опасных состояний в поведении водителя транспортного средства и генерации ему персонализированных рекомендаций, отличающиеся использованием контекстной информации и персонализацией взаимодействия водителя с распределенной системой предупреждения аварийных ситуаций.

5. Разработан программный комплекс для предупреждения аварийных ситуаций при движении транспортного средства с использованием смартфона, ориентированный на повышение безопасности водителя в кабине транспортного средства и отличающийся генерацией персонализированных контекстно-ориентированных рекомендаций, а также доступностью для рядового водителя за счет широкой распространенности смартфонов.

Практическая ценность работы. Предложенный в диссертационной работе подход, объединяющий модели и алгоритмы, к разработке сервис-ориентированной распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителя описывает отдельный класс систем для транспортных средств. Внедрение подобного класса систем позволит разработать программный комплекс, ориентированный на использование в различных транспортных средствах (например, автомобиль, велосипед, гироскутер) и обладающий возможностью адаптироваться к стилю вождения водителя с учетом его особенностей управления транспортным средством и генерации контекстно-ориентированных рекомендаций в режиме реального времени.

Методология и методы исследования. Методология диссертационного исследования основана на постановке и формализации целей и задач, разработке моделей, алгоритмических методов, экспериментальной оценке при помощи экспериментов, тестировании, апробации и анализе результатов. Для решения поставленных задач в работе использовались методы разработки информационных систем для поддержки процессов сбора информации, анализа, проектирования и реализации таких систем, теории

алгоритмов для эффективной формулировки подзадач и оценки сложности алгоритмов, управления онтологиями для представления знаний о водителях, транспортном средстве и окружающей обстановке, теории машинного обучения для анализа поведения водителей, формирования рекомендаций водителю для принятия им мер по предотвращению наступления аварийной ситуации и повышению навыков вождения, а также методы разработки программного обеспечения для реализации распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций.

Положения, выносимые на защиту:

1. Контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций при управлении транспортным средством на основе сенсоров смартфона, установленного на лобовом стекле, обеспечивает распознавание опасных состояний и своевременное предупреждение о них водителя.

2. Информационная модель профиля водителя транспортного средства, онтологическая и сценарная модели распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций обеспечивают персонализацию взаимодействия водителя с системой, позволяют формализовать информацию о нем, транспортном средстве и опасных состояниях, а также описать взаимодействие между участниками и системой на основе отдельных сценариев использования программного комплекса водителями транспортных средств, администраторами корпоративных автопарков и представителями страховых компаний, соответственно.

3. Сервис-ориентированная архитектура распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций, спроектированная на основе предложенного подхода и моделей, поддерживает предупреждение водителя об аварийных ситуациях при управлении транспортным средством, а также мониторинг статистики поездок и формирование отчетов для администраторов автопарков и представителей страховых компаний на основе использования технологий облачных вычислений.

4. Алгоритмы распознавания опасных состояний в поведении водителя, персонализации его взаимодействия с распределенной системой предупреждения аварийных ситуаций и выработки ему персонализированных рекомендаций на основе контекстной информации с сенсоров смартфона обеспечивают своевременную генерацию контекстно-ориентированных персонализированных рекомендаций водителю транспортного средства.

5. Программный комплекс распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций обеспечивает возможность апробации предложенных подходов, моделей, архитектуры и алгоритмов, а также оценки их эффективности.

Степень достоверности. Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается глубоким анализом исследований и подходов к разработке систем активной безопасности, корректным обоснованием постановок задач, точной формулировкой принципов построения системы, а также успешной апробацией результатов на российских и международных конференциях.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационного исследования представлялись на международных и всероссийских научных конференциях: международная конференция ассоциации открытых инноваций FRUCT: FRUCT 17,18,20 (Россия, 2015, 2016, 2017), FRUCT 19,21,22 (Финляндия, 2016, 2017,2018), международная конференция «Knowledge Engineering and Semantic Web (KESW)» (Россия, Москва, 2015), 2-ая международная конференция «Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems VENITS» (Италия, Рим, 2016), международная конференция «Speech And Computer» SPECOM (Венгрия, Будапешт, 2016), IV (2015), V (2016) и VII (2018) «Всероссийский конгресс молодых ученых» (Россия, Санкт-Петербург).

Исследования, отраженные в диссертационной работе, проведены в рамках НИР: грантов РФФИ № 17-29-03284 «Разработка моделей предупреждения аварийных ситуаций транспортных средств на основе мобильных видеоизмерений поведения водителя в кабине»

(2017-2019 гг.); № 15-07-08092 «Разработка теоретических и технологических основ построения проактивных рекомендуемых систем для инфомобильных приложений» (2015-2017 гг.). Работа также выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01 2014-2017).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, среди которых 2 работы в журналах из списка ВАК и 8 работ в международных изданиях, индексируемых в реферативных базах Web of Science и Scopus; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Мобильный сервис для предотвращения аварийных ситуаций и генерации рекомендаций водителю транспортного средства во время движения с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона (Drive Safely)» // Смирнов А.В., Кашевник А.М., Лашков И.Б., № 2017614256 от 10 апреля 2017.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 155 машинописных страниц, содержит введение, четыре главы и заключение, список литературы (154 наименования), 10 таблиц, 34 рисунка и одно приложение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование важности и актуальности работы, формулируются основные цели работы, решаемые задачи, определяется научная новизна и указывается практическая ценность результатов работы.

В первой главе раскрывается сущность понятия и подхода мониторинга поведения водителя ТС, ориентированного на анализ текущей ситуации, выявление опасных состояний водителя во время вождения и предупреждение о возможном наступлении аварийной ситуации и, предназначенного для снижения вероятности возникновения ДТП. Данный подход активно применяется в системах активной безопасности водителя ТС. Глава содержит обзор существующих проектов и исследований в области систем активной безопасности водителя, нацеленных на выявление опасных состояний в поведении водителя и привлечение его внимания за счет генерации рекомендаций, воспроизводимых водителю с использованием различных сигналов (звуковой/речевой, визуальный), на основе которых были выявлены существующие преимущества и недостатки подобных систем.

Проведенный обзор существующих решений в области систем активной безопасности позволил выделить современные системы содействия водителю (далее СССВ), существующие в виде аппаратно-программных комплексов и устанавливаемые на заводах производителей; мобильные системы генерации рекомендаций (далее МСГР), разрабатываемые на основе программных решений в виде мобильных приложений; видеокamеры, устанавливаемые в кабине ТС и представленные автомобильными видеорегистраторами, отдельными устройствами видеонаблюдения, направленными на водителя или дорогу; устройства носимой электроники (далее УНЭ), надеваемые и носимые водителем во время управления ТС.

Несомненными преимуществами СССВ является высокая точность и скорость распознавания дорожных ситуаций, а время, необходимое для настройки и активации системы безопасности, минимально для водителя. Среди недостатков данных систем можно выделить высокую стоимость таких встраиваемых решений по сравнению с внутренними видеокamерами наблюдения и МСГР, затруднительную персонализацию при использовании ТС разными водителями и, как правило, отсутствие возможности для штатной установки в ТС в качестве дополнительного оборудования.

Благодаря своей конструкции внутренние камеры наблюдения дают возможность водителю самостоятельно закрепить, например, на лобовом стекле ТС или демонтировать видеокamеру в любой момент без каких-либо трудностей или затрат. Подобные системы имеют ряд ограничений, связанных с невозможностью адаптации индивидуально для водителя и отсутствием генерации ему контекстно-ориентированных рекомендаций.

Несомненным преимуществом применения УНЭ является возможность использования в кабине любого ТС. Среди недостатков можно выделить ограничения к использованию, заключающиеся в повседневном надевании носимого устройства перед началом движения и, как следствие, его ручной настройке каждый раз перед началом новой поездки, а также возможной несовместимости или неудобстве при надевании носимого устройства вместе с очками водителя.

Преимуществом использования систем МСГР перед СССВ является не только более доступная стоимость смартфонов, но и в том числе то, что на сегодняшний день смартфоны широко распространены среди населения и зачастую необходимость в его приобретении для водителя отсутствует. Среди недостатков МСГР выделены необходимость в ручной калибровке смартфона и мобильного приложения. Мобильные приложения, реализующие МСГР, видеорегистраторы и УНЭ ограничиваются в своей работе использованием только контекста окружающей обстановки для мониторинга поведения водителя. Использование алгоритмов персонализации поведения и стиля вождения того или иного водителя на основе статистики управления ТС с использованием удаленного сервиса позволит расширить возможности МСГР и разработать распределенную систему предупреждения аварийных ситуаций (РСПАС), учитывающую информацию о профиле водителя, ТС, контекст, предыдущий опыт использования системы и статистику взаимодействия между остальными пользователями и системой. Таким образом, удовлетворение поставленных требований к РСПАС достигается путем разработки соответствующих алгоритмов, сервисов и модулей программного комплекса.

Упрощенная схема системы мониторинга поведения водителя, интегрированной в автомобиль, представлена на рис. 1. В качестве наглядного представления на рисунке пунктирной линией выделена область применения РСПАС, использующая в своей работе контекст внутри кабины ТС.

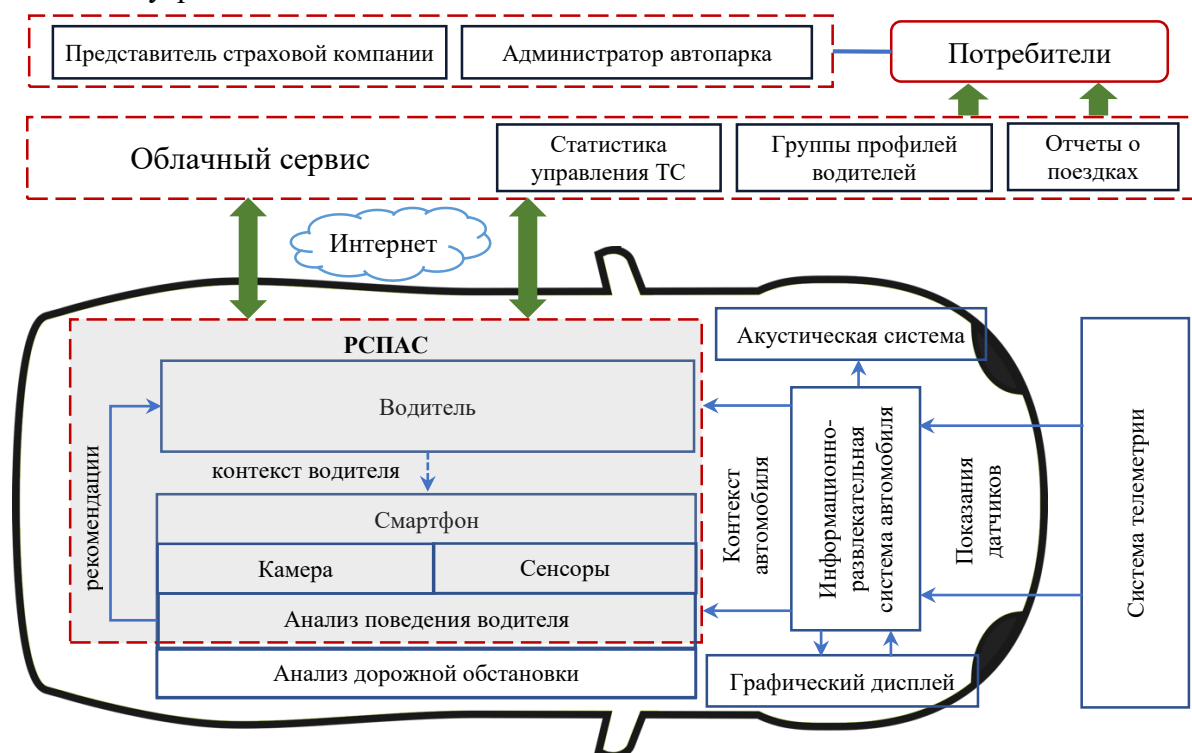


Рисунок 1 – Общая схема применения системы мониторинга в автомобиле

Обзор систем активной безопасности водителя ТС позволил выделить основные требования к построению РСПАС, а именно: поддержка распознавания опасных состояний водителя и выработка ему рекомендаций; функционирование системы в отсутствие подключения к сети Интернет; заблаговременное предупреждение водителя об опасном состоянии при помощи информационного, звукового или вибросигнала; генерирование

рекомендаций водителю по предотвращению наступления аварийной ситуации; персонализация и адаптация РСПАС индивидуально к поведению и стилю вождения водителя; поддержка просмотра истории использования РСПАС и статистики управления ТС пользователями системы; поддержка полной работоспособности программного комплекса на версиях операционной системы (далее ОС) Android 4.2 и выше; функционирование РСПАС при ухудшении условий освещения внутри кабины ТС и окружающей обстановки; непрерывность мониторинга за поведением водителя в режиме реального времени; осведомленность о текущей ситуации в кабине ТС; конфиденциальность и безопасность; расширяемость; энергоэффективность.

Во второй главе сформулированы основные принципы построения (Таблица 1) сервис-ориентированной системы предупреждения аварийных ситуаций на основе предложенных контекстно-ориентированного подхода, информационной модели профиля водителя, онтологической, сценарной моделей и модели облачного сервиса РСПАС.

Таблица 1 – Соответствие принципов требованиям построения РСПАС

№	Требование	Принцип
1	Распознавание ослабленного внимания и усталости водителя ТС	Использование онтологии, алгоритмов определения состояния ослабленного внимания и усталости в поведении водителя на основе изображений с фронтальной камеры и данных сенсоров смартфона
2	Функционирование РСПАС в отсутствие подключения к сети Интернет	Использование онтологии; работа в режиме реального времени; использование постоянной памяти смартфона для хранения вспомогательных файлов
3	Своевременное предупреждение водителя об опасном состоянии	Непрерывный мониторинг признаков опасных состояний водителя во время вождения с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона; использование контекстной информации
4	Генерация рекомендаций водителю	Использование контекстной информации; использование алгоритмов выработки персонализированных рекомендаций; открытость источников информации
5	Персонализация и адаптация РСПАС индивидуально к поведению и стилю вождения водителя	Кластеризация профилей водителей РСПАС на отдельные группы и выделение общих характеристик для каждой группы; использование модели облачного сервиса; использование контекстной информации; конфиденциальность информации о водителях
6	Поддержка режима непрерывной работы РСПАС	Энергосбережение заряда аккумулятора смартфона; запуск мобильного приложения РСПАС на переднем плане поверх сторонних приложений
7	Функционирование РСПАС при ухудшении условий освещения в кабине ТС и окружающей обстановке	Использование считываемых показаний с фронтальной камеры и сенсоров смартфона; генерирование предупреждающих сигналов; использование контекстной информации
8	Просмотр истории использования РСПАС и статистики управления ТС	Использование контекстно-ориентированного подхода, сценарной и онтологической модели системы РСПАС, информационной модели профиля водителя и модели облачного сервиса
9	Конфиденциальность и безопасность	Разграничение прав доступа к просмотру и модификации информации о водителях и статистики вождения ТС в соответствии с ролью участника РСПАС; открытый исходный код программных средств

Для реализации сценариев использования РСПАС разработан контекстно-ориентированный подход (рис. 2) на основе распределенного накопления, анализа общей информации о водителе, контекста, его компетенций и истории взаимодействия с РСПАС и классификации водителей системы. Контекст описывает информацию, характеризующую ситуацию, в которой находятся водитель и ТС. Общая информация, первоначально характеризующая водителя и история взаимодействия, включающая компетенции водителя, контекст и статистику использования РСПАС, используются облачным сервисом для офлайн анализа действий и обновлений компетенций водителей.

Первичная калибровка системы позволяет мобильному приложению учесть внешние характеристики водителя, параметры и возможности его смартфона и ТС и лучше адаптироваться индивидуально под водителя. На основе онтологии, включающей знания о водителе, профиле и лицевых характеристиках, ТС, показаниях сенсоров смартфона,

происходит выявление опасных состояний путем сопоставления сведений о текущей ситуации и анализа поведения водителя в кабине ТС. На основе выявленного опасного состояния и контекста происходит генерация рекомендаций, нацеленных на снижение вероятности наступления аварийной ситуации.

Информация, непрерывно собираемая облачным сервисом, позволяет выделить и сформировать его паттерны поведения. По мере взаимодействия водителей и пользователей с РСПАС система продолжает обучаться на основе накапливаемых данных и адаптироваться под каждого водителя с учетом его особенностей поведения за рулем ТС.



Рисунок 2 – Контекстно-ориентированный подход к созданию РСПАС

Информационная модель профиля водителя (рис. 3) предоставляет информацию системе РСПАС на основе совокупности параметров и отношений между ними, позволяющей системе моделировать различные состояния оператора (водителя) на основе передачи информации. Смартфон отвечает за предоставление контекста водителя и ТС, а облачный сервис – за описание общей информации о водителе, его компетенциях и истории взаимодействия.

Система РСПАС разработана с использованием онтологической модели, отличающейся комплексным накоплением и анализом статической и динамической информации о водителе, ТС, опасных состояниях и смартфоне. Для упрощенного представления знаний о контексте онтологическая модель системы РСПАС (рис. 4) нацелена на формализацию процессов выявления опасных состояний в поведении водителя и генерацию ему рекомендаций.

предварительной обработки при необходимости применяется поворот, масштабирование и конвертирование изображения в градации серого для последующей обработки.

Используя контекстную информацию о водителе и ТС, поступающую от сенсоров и различных источников информации, подмодуль выявления опасных состояний распознает наличие признаков опасного поведения водителя в кабине ТС.

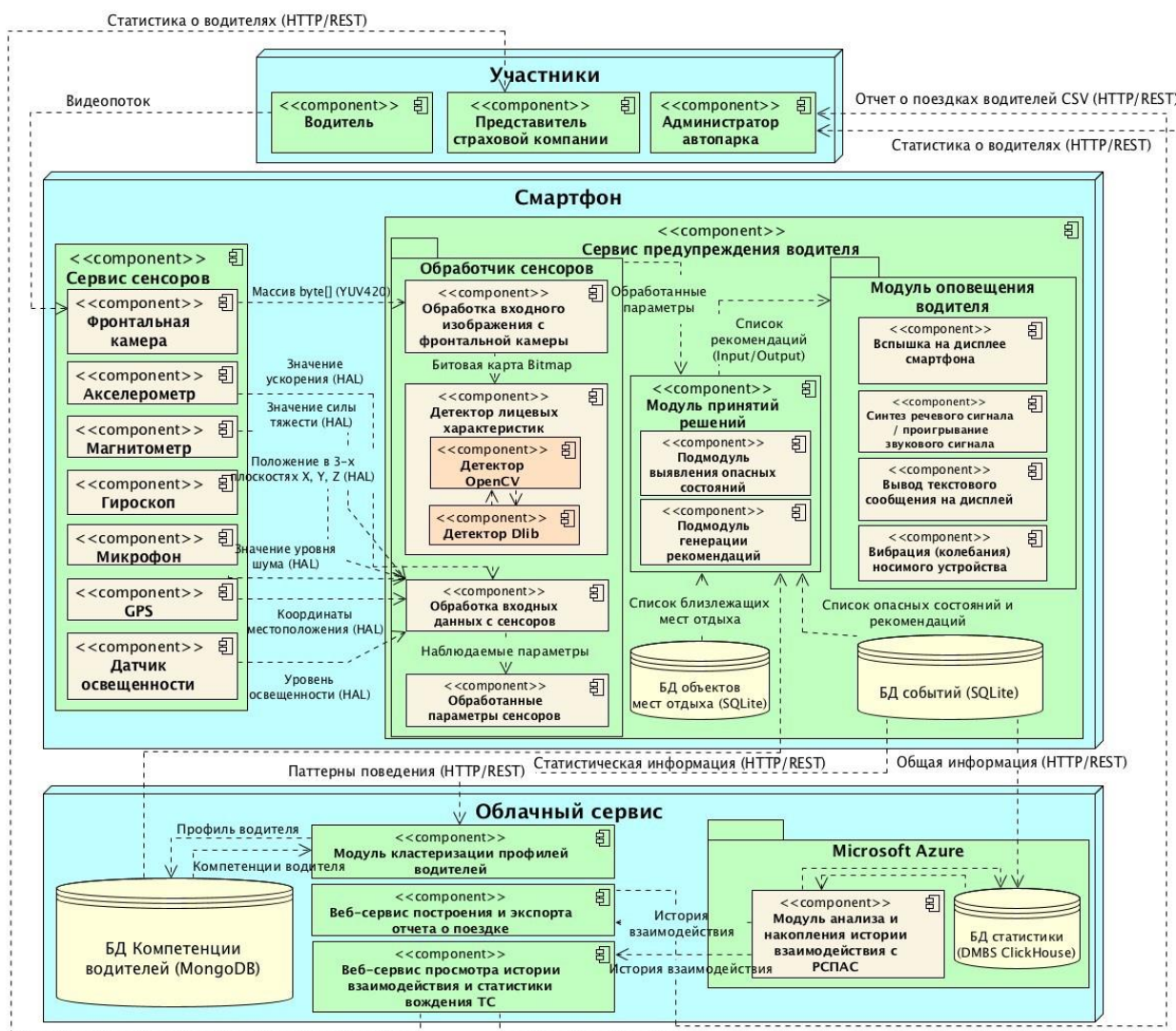


Рисунок 6 – Сервис-ориентированная архитектура системы РСПАС

Вычисленный набор лицевых точек водителя позволяет определить положение его головы за счет отображения данных 2D координат и антропометрических координат характеристик модели головы человека в трехмерной системе координат (1):

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где f_x, f_y – длины фокуса фронтальной камеры смартфона (пиксели), c_x, c_y – как правило, координаты центра изображения (пиксели), X, Y, Z – координаты в трехмерной системе координат, (u, v) – координаты точек проекции (пиксели).

Анализируя результаты работы подмодуля выявления опасных состояний, применяя паттерны поведения водителя из БД компетенций водителей и используя, при необходимости, список объектов мест отдыха, подмодуль генерации рекомендаций формирует рекомендацию модулю оповещения водителя для предупреждения водителя об аварийной ситуации при помощи уведомлений с использованием встроенных функций

смартфона. Алгоритм определения опасного состояния в поведении водителя описан в листинге 1.

Листинг 1 – Алгоритм определения опасного состояния в поведении водителя

Параметры:

EVD_RATIO – порог опасных ситуаций к общему числу событий (по умолчанию 0,75);
IM – очередь из изображений водителя с фронтальной камеры смартфона;
EV – список обработанных событий; *EVD* – список обнаруженных опасных ситуаций;
timeS, *timeE* – время начала и конца определения опасного состояния, соответственно (мс);
speed – текущая скорость движения ТС (км/ч);
MIN_N – мин. количество опасных ситуаций (1-101).

Begin

```
1.   For each im ∈ IM do
2.     if speed < 10 continue
3.     rotatedBitmap ← rotateImageIfNeed(im) //поворот изображения
4.     resizedImage ← downscaleImage(rotatedBitmap) //масштабирование изображения
5.     grayscaleImage ← makeGrayscale(resizedImage) //перевод в градации серого
6.     faceLandmarks ← detectLandmarks(grayscaleImage) //характеристики лица
7.     poseState ← detectHeadPoseState(faceLandmarks) //положение головы водителя
8.     if headRotateAngle(poseState) > 15 or headTiltAngle(poseState) > 15 do
9.       event ← distraction
10.    else do
11.      eyeState ← detectEyeState(faceLandmarks) //состояние глаз водителя
12.      perclos ← detectPerclos(eyeState)
13.      if perclos >= 0,28 do
14.        event ← drowsiness
15.      else detectYawning(faceLandmarks) >= 2,5 do
16.        event ← yawning //зевота
17.    addEvent(EV, event)
18.    if isDetectDanger(event) do addEvent(EVD, event) //распознано опасное поведение
        водителя
19.    if (timeE - timeS) > 1500 and notEmpty(EV) or size(EV) >= MIN_N do
20.      ratio ← count(EVD) / count(EV) //доля опасных состояний к общему числу
21.      if ratio > EVD_RATIO do
22.        notifyEmergency() //уведомление водителя об опасном состоянии
23.      clear(EV)
24.      clear(EVD)
```

End

Персонализацию системы РСПАС обеспечивает модуль кластеризации профилей водителей облачного сервиса, выполняющий выделение групп водителей со схожими характеристиками. Облачный сервис позволяет получить статистику вождения водителей в том или ином формате. Все операции выполнения сетевых запросов между системой РСПАС и облачным сервисом осуществляются при помощи протокола передачи данных HTTP и архитектурного стиля взаимодействия в сети REST API.

Осуществляя поиск и локализацию объектов лица водителя (открытость и закрытость глаз; продолжительность моргания век; направление взгляда; угол поворота головы, угол наклона головы) при помощи фреймворков OpenCV, Dlib и алгоритмов компьютерного зрения с использованием заранее построенных классификаторов признаков и NOG дескрипторов, на каждом кадре оцениваются лицевые характеристики водителя с целью анализа возможной опасной ситуации, в которой он находится, в тот или иной момент времени.

Представим распознавание опасного состояния t_s на временном промежутке (рис. 7), в течение которого непрерывно производится считывание параметров поведения водителя за рулем ТС на основе данных с фронтальной камеры и сенсоров смартфона, характеризующих ту или иную опасную ситуацию t_e .

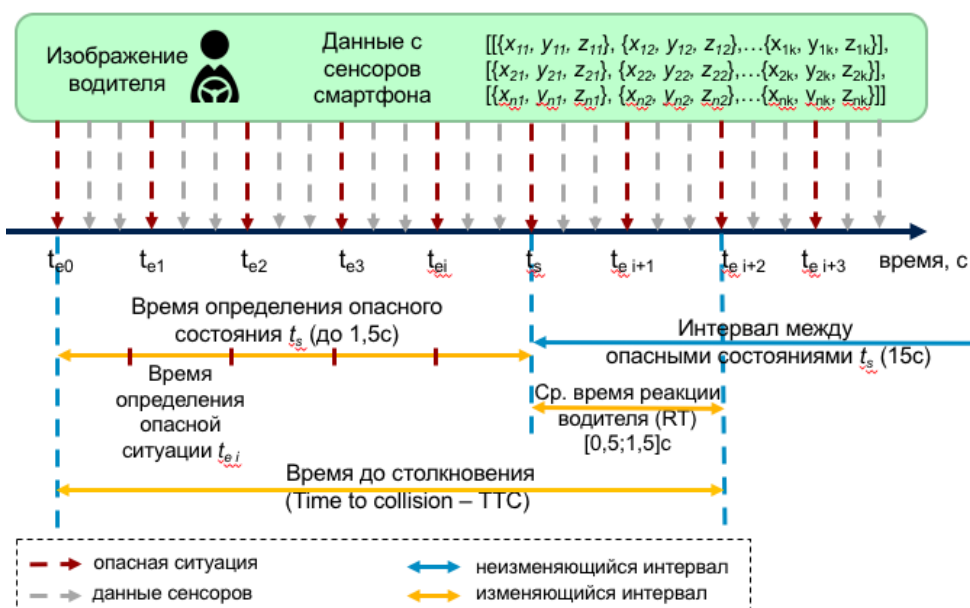


Рисунок 7 – Схема определения опасного состояния

В результате анализа публикаций, посвященных безопасности вождения ТС, было установлено, что при мониторинге опасных состояний в системах активной безопасности используется параметр «время до столкновения» (ТТС – Time-To-Collision), определенный в качестве значения на интервале [2;3] сек. ТТС зависит не только от текущих условий движения, но и от времени реакции водителя (RT – Reaction Time), характеризующей момент обнаружения опасного состояния до начала принятия водителем мер и равной [0,5;1,5] сек. индивидуально для водителя и времени, составляющего распознавание опасного состояния t_s , включающего i число ситуаций t_e , обозначающих это состояние. Среднее время RT зависит от индивидуальных особенностей водителя, времени в пути водителя, его возраста, скорости ТС следующим образом (2):

$$t_{reaction} = \frac{A \times \omega_1 + G \times \omega_2 + DT \times \omega_3}{V \times \omega_0} \quad (2)$$

где $t_{reaction}$ – время реакции водителя, A – возраст водителя (от 18), G – пол водителя (мужской/женский), DT – время в пути (мин.), V – скорость ТС (км/ч), а $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3$ – коэффициенты (веса) для каждого из перечисленных параметров, соответственно. В приведенной формуле увеличение V (уменьшение) влечет за собой уменьшение (увеличение) времени реакции водителя реагирования на опасную ситуацию и наоборот.

Одним из ключевых входных параметров, не определенных заранее, является совокупное число опасных ситуаций n на временном интервале, описывающих то или иное опасное состояние t_s , равным ТТС, за исключением RT. Данный параметр зависит от времени обработки опасных ситуаций t_e и времени реакции водителя $t_{reaction}$. На основе исследований в области анализа RT и ТТС и самостоятельно проведенных экспериментов по обработке изображений водителя с фронтальной камеры смартфона была выведена следующая формула определения числа опасных ситуаций (3):

$$n = 1 + \left(\frac{E}{t_{reaction} + 0,5} * 2 \right)^2 \quad (3)$$

где n – безразмерная величина, равная числу измеряемых опасных ситуаций $\in [1, 101]$, E – коэффициент вычислительной способности смартфона $\in [1, 5]$ с. Таким образом, с уменьшением (увеличением) времени обработки одной опасной ситуации или уменьшением (увеличением) времени реакции водителя параметр n растет (уменьшается), позволяя тем самым более точно распознавать опасное состояние в его поведении, учитывая большее число потенциальных опасных ситуаций за отведенное время.

На следующем шаге работы РСПАС применяется алгоритм генерации рекомендаций (листинг 2) водителю ТС при выявлении опасного состояния. При обнаружении признаков

ослабленного внимания у водителя система РСПАС предупредит его при помощи звукового сигнала, привлекая тем самым внимание и, учитывая удаленность мест отдыха и текущее местоположение водителя, произведет поиск близлежащих к водителю работающих кафе, отелей и заправочных станций и построит маршрут до выбранного места. В качестве рекомендаций водителю может быть предложено остановиться на ночлег, выпить тонизирующий напиток, включить радио или музыку, начать диалог с пассажиром, проветрить салон ТС, напеть себе мелодию или съехать на обочину и сделать краткосрочный отдых.

Листинг 2 – Алгоритм генерации рекомендаций водителю

Параметры:

tDest – оставшееся время до места назначения (ч.); tPoi – время поездки до места отдыха (мин.);
dDest, dPoi – расстояние до пункта назначения (км) и места отдыха (км), соответственно;
location – текущие координаты местоположения водителя;
poi – список объектов мест отдыха; i – номер опасного события (по умолчанию 0).

Begin

```

1.   if isInternetConnected() do
2.       isHighway ← isDrivingHighwayRoad(location) //водитель едет по трассе?
3.       if isHighway and tDest>1 and tPoi<=20 or not isHighway and dDest>=100 and dPoi <= 50 do
4.           If isDriverSelectedHotel()do recommendStayHotel(poi)
5.           else do recommendDrinkCoffee(poi)
6.           return
7.   else do
8.       playAudioTune() //воспроизвести звуковой сигнал
9.       rec ← init()
10.      switch(i)
11.          case 1: rec ← recommendPlayMusic()
12.          case 2: if isDrivingNotAlone() do rec ← recommendStartDialog()
13.          case 3: rec ← recommendCoolCarInterior()
14.          case 4: rec ← recommendSingYourself()
15.          case 5: rec ← recommendPullOverAndTakeNap()
16.          i ← i + 1
17.          default: i ← 0
18.      outputRecommendation(rec) //воспроизвести рекомендацию

```

End

Для персонализации системы РСПАС индивидуально для водителя используется алгоритм обучения, формирующий связь между наблюдаемыми характеристиками поведения водителя и обрабатываемыми измерениями контекста водителя и ТС на основе данных с сенсоров смартфона. Такая связь создается за счет отображения параметров поведения водителя и характеристик управления ТС. Результатом работы отображения является совокупность атрибутов, характеризующих стиль вождения того или иного водителя индивидуально от стиля остальных участников РСПАС. Далее производится оценка стиля вождения водителя на основе препроцессинга агрегированных атрибутов, позволяющего отобразить данные в формат, пригодный для обучения модели. Метод онтолого-ориентированной кластеризации профилей водителей определяет группы (кластеры) схожих водителей по стилю вождения и схожих задач, которые могут быть выполнены этими водителями. Результат работы кластеризации используется РСПАС в дальнейшем при оценке паттернов поведения того или иного водителя во время вождения.

В четвертой главе описана программная реализация РСПАС на основе методов и моделей, представленных в предыдущих главах. Мобильное приложение, устанавливаемое на смартфон водителя, разработано для ОС Android с использованием языков программирования Java, Kotlin и C++ в среде программирования Android Studio. Анализ поведения водителя ТС на основе детектирования его лицевых характеристик на изображении реализован на языке программирования C++ при помощи библиотек компьютерного зрения OpenCV и Dlib. Временной интервал распознавания независимых опасных состояний составляет 15 сек., не допускающий генерацию повторных предупреждений водителю и в то же время не пропускающий изменения характеристик его поведения во время движения. Итоговая сборка мобильного приложения в формате «apk» для платформы Android и использования в системе РСПАС занимает 100 Мб в памяти смартфона, а после установки на смартфон – 120 Мб.

Производительность разработанного мобильного приложения была протестирована на смартфонах LG G3, Google Pixel 2 XL, Asus Zenfone 3 Deluxe 5.5, Asus Zenfone 3 ZE520KL, Samsung Galaxy S6, Samsung Galaxy S8+, Samsung Galaxy J1 Mini, Samsung Galaxy A3, Samsung Galaxy Tab Pro 8.4, Samsung Galaxy Alpha, Huawei Honor 9, Huawei P8 Lite, Huawei Nova, Xiaomi Mi 5, Xiaomi Redmi Note 3, Xiaomi Redmi 4, Xiaomi Redmi 1S. Сравнение времени распознавания опасных состояний в поведении водителя на всех использованных смартфонах приведено на рис. 8. В тестировании системы РСПАС приняло участие 30 водителей с личным ТС, среди которых были и мужчины, и женщины. Вариант взаимодействия водителя с системой РСПАС представлен на рис. 9.

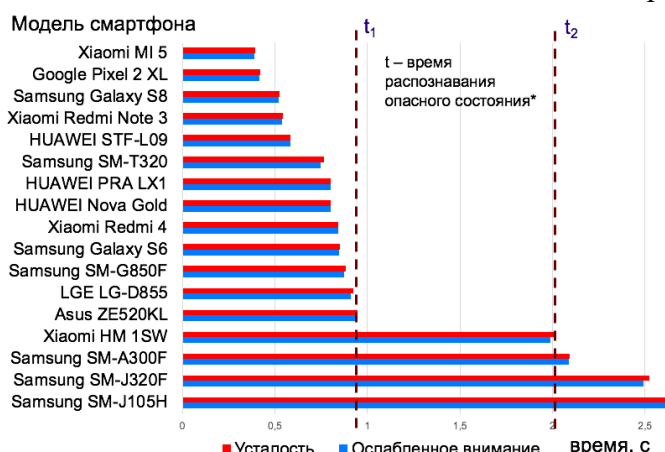


Рисунок 8 – Время распознавания опасных состояний для водителя на смартфоне

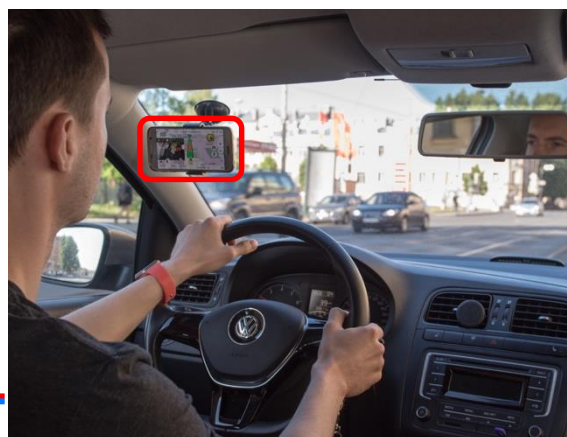


Рисунок 9 – Использование мобильного приложения на смартфоне водителя

Для удобства водителя мобильное приложение запускается совместно с привычной ему навигационной системой (рис. 10), отображаясь на переднем плане поверх остальных приложений. Левая часть рисунка показывает нормальное состояние водителя. В правой части рисунка отображается предупреждение, сигнализирующее о распознанном состоянии усталости у водителя ТС.

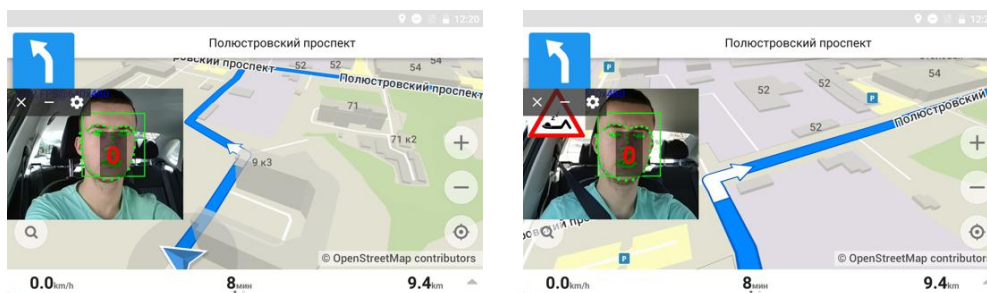


Рисунок 10 – Пример интерфейса мобильного приложения для водителя. Слева показано нормальное состояние водителя, а справа распознано состояние усталости

Использование разработанной в диссертационной работе РСПАС позволяет снизить вероятность возникновения аварийной ситуации в процессе движения и, таким образом, повысить эффективность системы мониторинга поведения водителя за счет разработки моделей и алгоритмов предупреждения аварийных ситуаций и генерации контекстно-ориентированных рекомендаций в кабине транспортного средства с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона, нацеленных на своевременное предупреждение водителя об опасном поведении в кабине ТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе предложено решение актуальной научно-технической задачи по разработке моделей и алгоритмов программного комплекса мониторинга поведения водителя, позволяющего снизить вероятность наступления ДТП и улучшить

стиль вождения водителя за счет анализа контекстной ситуации в кабине транспортного средства. В процессе решения данной задачи были получены следующие результаты:

1. Предложен контекстно-ориентированный подход к созданию распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителя и генерации ему рекомендаций с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона, позволяющий системе адаптироваться к стилю вождения водителя в процессе ее функционирования за счет анализа и группирования профилей водителей и выделения паттернов их поведения в кабине транспортного средства.

2. Разработаны онтологическая модель системы РСПАС и информационная модель профиля водителя, позволяющие использовать облачный сервис для накопления, анализа и предоставления статистики использования программного комплекса и информации о водителях, генерировать персонализированные контекстно-ориентированные рекомендации для предотвращения наступления аварийной ситуации и сценарная модель мониторинга поведения водителя, позволяющая использовать РСПАС водителями, администраторами корпоративных автопарков и представителями страховых компаний.

3. Предложена сервис-ориентированная архитектура распределенной системы предупреждения аварийных ситуаций водителя, позволяющая использовать облачный сервис для поддержки ресурсоемких вычислений в процессе обучения системы за счет накопления и анализа статистики использования программного комплекса и информации о водителях.

4. Разработаны алгоритмы распознавания опасных состояний в поведении водителя транспортного средства и генерации ему персонализированных рекомендаций, позволяющие учитывать контекстную информацию и результаты работы персонализации взаимодействия водителя с распределенной системой предупреждения аварийных ситуаций.

5. Разработан программный комплекс на основе предложенных моделей и архитектуры для мониторинга поведения водителя в кабине ТС, позволяющий генерировать рекомендации водителю с целью предотвращения наступления аварийной ситуации во время движения, своевременно обращая его внимание на возникающие опасности, с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона.

Сформулированы рекомендации по применению результатов работы в грузопассажирских перевозках и логистических компаниях. Результаты, полученные в диссертационной работе, использованы при создании нового класса систем для мониторинга поведения водителя транспортного средства во время движения с целью выявления опасных состояний и формирования контекстно-ориентированных рекомендаций. Полученная информация о распознанном ослабленном внимании или усталости водителя, а также контекст и информация из облачного сервиса, позволяют заблаговременно его предупредить и сформировать рекомендацию, ориентированную на принятие им мер по предотвращению наступления аварийной ситуации. Также, полученные в диссертации результаты позволили реализовать распределенную систему предупреждения об аварийных ситуациях на основе мониторинга поведения водителя транспортного средства за счет использования фронтальной камеры и сенсоров смартфона на платформе Android. Представленные решения могут использоваться водителями с личным автомобилем, администраторами автопарков при учете труда и отдыха водителей, контроля совершения ими поездок и представителями страховых компаний в целях повышения безопасности водителей и предоставлении страховых услуг на длительный период.

В качестве перспектив дальнейшей разработки стоит обратить внимание на исследования, связанные с анализом физиологических сигналов водителя, регистрируемых при помощи устройств носимой электроники на основе таких показателей как количество ударов сердца в мин. (частота пульса), электрическая активность мышц (электромиография), активность глазного яблока (электроокулография). Дополнительные

индикаторы позволяют точнее детектировать состояние водителя при различных условиях освещенности и распознавать больше число опасных состояний в поведении водителя, повышая его безопасность в кабине ТС и применимость программного комплекса в целом. Стоит отметить, что исследования, проведенные в диссертационной работе, затрагивают только анализ поведения водителя, исключая мониторинг состояния дорожной обстановки впереди ТС. Также представляется интересным исследование влияния формируемых системой рекомендаций водителю на динамику его стиля вождения и, как следствие, эффективность эксплуатации транспортного средства.

Полученные результаты соответствуют п. 3 «Модели, методы, алгоритмы, языки и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем» и п. 8 «Модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределённой обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования» паспорта специальности 05.13.11 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК и изданиях, приравненных к ним:

1. Lashkov I., Smirnov A., Kashevnik A., Hashimoto N., Boyali A. Smartphone-Based On-the-Fly Two-Wheeled Self-Balancing Vehicles Rider Assistant // Proceedings of the 17th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2015. – P. 201-209. **(Web Of Science, Scopus)**

2. Lashkov I., Smirnov A., Kashevnik A., Parfenov V. Ontology-Based Approach and Implementation of ADAS System for Mobile Device Use While Driving // Knowledge Engineering and Semantic Web. – 2015. – Vol. 518. – P. 117-131. **(Web Of Science, Scopus)**

3. Smirnov A.V., Kashevnik A.M., Lashkov I., Baraniuc O., Parfenov V. Smartphone-Based Identification of Dangerous Driving Situations: Algorithms and Implementation // Proceedings of the 18th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2016. – P. 306-313. **(Web Of Science, Scopus)**

4. Smirnov A., Kashevnik A., Shilov N., Lashkov I. Driver Assistant in Automotive Socio-cyberphysical System: Reference Model and Case Study // International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. – 2016. – P. 104-111. **(Web Of Science, Scopus)**

5. Smirnov A., Kashevnik A., Lashkov I. Human-Smartphone Interaction for Dangerous Situation Detection & Recommendation Generation while Driving // Speech and Computer, LNCS. – 2016. – Vol. 9811. – P. 346–353. **(Web Of Science, Scopus)**

6. Hashimoto N., Okuma T., Miyakoshi S., Tomita K., Matsumoto O., Smirnov A., Kashevnik A., Lashkov I. Use Cases for Rider Assistant Mobile Application Evaluation Using Travelling Simulator // Proceedings of the 19th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2016. – P. 47-53. **(Web Of Science, Scopus)**

7. Kashevnik A., Lashkov I., Parfenov V., Mustafin N., Baraniuc O. Context-Based Driver Support System Development: Methodology and Case Study // Proceedings of the 21st Conference of Open Innovations Association FRUCT. – Helsinki, Finland, 6-10 November 2017. – P. 162–171. **(Web Of Science, Scopus)**

8. Kashevnik A., Lashkov I., Fedotov A. Web-Service for Drive Safely System User Analysis: Architecture and Implementation // Proceedings of the 22th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – Helsinki, Finland, 2018. – P. 40-47. **(Web Of Science, Scopus)**

9. Лашков И.Б., Смирнов А.В., Кашевник А.М. Исследование и разработка подхода к построению интеллектуального мобильного сервиса для автоматизированной поддержки водителя транспортного средства // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. - Т. 15. - № 6(100). – С. 1130–1138. **(ВАК)**

10. Лашков И.Б. Анализ поведения водителя при управлении транспортным средством с использованием фронтальной камеры смартфона // Информационно-управляющие системы. – 2017. – 4(89). – С. 7-17. **(ВАК)**

Зарегистрированное программное обеспечение:

11. Мобильный сервис для предотвращения аварийных ситуаций и генерации рекомендаций водителю транспортного средства во время движения с использованием фронтальной камеры и сенсоров смартфона (Drive Safely) // Смирнов А.В., Кашевник А.М., Лашков И.Б., № 2017614256 от 10 апреля 2017.

В других изданиях:

12. Lashkov I., Smirnov A. State-of-the-Art Analysis of Available Advanced Driver Assistance Systems // Proceedings of the 17th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2015. – P. 345-349.

13. Lashkov I. Smart Mobile Driver Assistance for Android // Proceedings of the 18th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2016. – P. 543-544.

14. Kashevnik A., Lashkov I. Drive Safely – Driver Assistance Application for Android // Proceedings of the 20th Conference of Open Innovations Association FRUCT, St. Petersburg, Russia. – 2018. – P. 624-625.

15. Kashevnik A., Lashkov I., Fedotov A. DriveSafety: Mobile Application and Statistics Analysing Service // Proceedings of the 22th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – Helsinki, Finland, 2018.