

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

И. Б. Лашков, А. М. Кашевник, Определение опасных состояний водителя на основе мобильных видеоизмерений его лицевых характеристик, *ИТuBC*, 2019, выпуск 2, 84–96

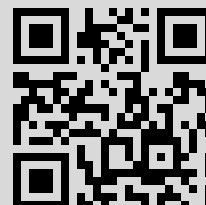
DOI: <https://doi.org/10.14357/20718632190209>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 37.204.132.191

12 ноября 2021 г., 22:34:10



Определение опасных состояний водителя на основе мобильных видеоизмерений его лицевых характеристик*

И. Б. Лашков, А. М. Кашевник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье предложена концептуальная модель системы распознавания опасных состояний водителя транспортного средства на основе мобильных видеоизмерений его лицевых характеристик. В рамках модели были разработаны схемы распознавания признаков потенциально небезопасного поведения водителя в каждый момент времени движения транспортного средства. Данные схемы ориентированы на детектирование состояний сонливости и ослабленного внимания, определяемых на основе результатов обработки изображений с фронтальной камеры смартфона при помощи методов компьютерного зрения. Лицевые характеристики, считываемые с изображения водителя, описывающие его лицо, направление взгляда, состояние глаз и рта, позволяют принимать решение о присутствии того или иного опасного состояния. Разработанные концептуальная модель и схемы позволяют заблаговременно предупреждать водителя о потенциальной опасности, что позволяет снизить вероятность наступления дорожно-транспортных происшествий или уменьшить ущерб транспортным средствам и людям при их наступлении. Апробация концептуальной модели произведена при разработке прототипа мобильного приложения для водителя и показала улучшение и повышение производительности распознавания опасных состояний во время движения транспортного средства по сравнению с существующими технологическими решениями на смартфонах.

Ключевые слова: водитель, поведение водителя, смартфон, опасная ситуация, транспортное средство.

DOI 10.14357/20718632190209

Введение

Дорожно-транспортные происшествия (ДТП) остаются одной из серьезных угроз для здоровья и жизни людей во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения [1] за 2018 год, ежегодно в мире в результате ДТП погибает около 1,35 млн человек. Согласно опубликованному докладу по безопасности дорожного движения в мире основной причиной смерти детей и молодых людей в возрасте

от 5 до 29 лет являются травмы в дорожно-транспортных происшествиях. Значительное число дорожных аварий происходит по причине засыпания водителя за рулем автомобиля или отвлечения его внимания от дорожной обстановки. Согласно исследованию [2] организации AAA Foundation for Traffic Safety, посвященному анализу поведения водителя при вождении в полусонном состоянии, недлительный сон в два раза увеличивает риск аварии по

*Представленные результаты исследований являются частью проектов № 16-29-04349 и 16-07-00462, финансируемых Российским фондом фундаментальных исследований, а также бюджетной темой № 0073-2019-0005.

сравнению с теми, кто спал рекомендуемые семь и больше часов. Вероятность попадания водителей в ДТП, у которых сон длится менее четырех часов, увеличивается в 11,5 раза; от четырёх до пяти часов – увеличивается в 4,3 раза; от пяти до шести часов – в 1,9 раза; от шести до семи часов – в 1,3 раза. В рамках данного исследования детектирование уровня усталости водителя за рулем происходит с использованием хорошо изученного и достоверного индикатора сонливости PERCLOS (PERcentage of eye CLOSure – доля времени, в течение которого глаза водителя закрыты в течение некоторого периода времени) [3]. Существующие на данный момент научные исследования показали, что параметр PERCLOS является проверенным и надежным критерием детектирования состояния сонливости у водителя. Состояния усталости и ослабленного внимания [4] водителя за рулём транспортного средства (ТС) представляют реальную угрозу жизни людей и приводят к росту дорожно-транспортных происшествий.

На сегодняшний день существует множество интеллектуальных систем безопасности, среди которых стоит выделить категорию систем активной безопасности, срабатывающих до наступления дорожно-транспортного происшествия. С целью повышения дорожной безопасности научным сообществом предложен подход к разработке систем активной безопасности, направленных на своевременное оповещение водителя о текущей ситуации и предотвращение аварийных ситуаций на основе мониторинга поведения водителя ТС за счет генерации ему уведомлений и контекстно-ориентированных рекомендаций. Общая схема работы системы активной безопасности может быть описана следующей последовательностью действий: непрерывный мониторинг поведения водителя, состояния транспортного средства и текущей дорожной ситуации с использованием различного рода вспомогательных устройств, встроенных в автомобиль, включая лазеры, радары, лидары ближнего и дальнего действия и, в том числе, видеокамеры; непрерывная обработка и анализ показателей, считываемых с сенсоров и определение опасного состояния во время движения автомобиля; оповещение о по-

тенциальной аварийной ситуации при помощи предупредительного сигнала и выработка рекомендации по предотвращению наступления ДТП; принятие управления ТС, если надлежащая реакция водителя недостаточна или отсутствует. На данный момент такие системы активной безопасности построены на основе использования данных, считываемых с множества встроенных в автомобиль сенсоров.

Разработки современных систем содействия водителю (СССВ), представляющие аппаратно-программные комплексы, доступны в той или иной мере в заводских комплектациях новых автомобилей, а некоторые среди них приобретаются и устанавливаются только отдельно. Стоит отметить, что такие технологии доступны не для всех транспортных средств, а ценовой диапазон таких решений остается достаточно высоким. К технологиям, составляющим СССР системы, относятся система удержания автомобиля в полосе движения, система предупреждения о превышении скоростного режима, система мониторинга слепых зон, система мониторинга усталости водителя и другие. В отличие от СССР, системы, построенные с использованием смартфона, требуют от водителя только наличия мобильного устройства средне-ценового сегмента с установленным на нем мобильным приложением, реализующим функции повышения безопасности поведения водителя в процессе вождения, что позволяет использовать системы контроля за поведением водителя и дорожной обстановкой в любом транспортном средстве¹. Стоит отметить, что смартфоны обладают множеством встроенных датчиков, таких как фронтальная камера, GPS, акселерометр, гироскоп, магнитометр, микрофон, которые могут быть задействованы разработчиками сторонних приложений. Таким образом, каждый смартфон, оборудованный фронтальной камерой, может быть потенциально использован при разработке мобильных приложений для непрерывного мониторинга поведения водителя, распознавания его лицевых характеристик и определения состояния ослабленного внимания или усталости во время движения.

¹ <http://www.pewinternet.net/org/fact-sheet/mobile/>

Научная задача мониторинга и оценки поведения водителя с целью определения состояния ослабленного внимания и усталости водителя в кабине транспортного средства требует дополнительных исследований и проведения экспериментов. На основе предложенных концептуальной модели и схем распознавания опасных состояний водителя в статье рассматривается эффективность использования лицевых характеристик. Данная статья является продолжением предыдущих научных работ по данной тематике [5-7], включая прототип мобильного приложения Drive Safely² для смартфонов на платформе операционной системы Android.

1. Анализ существующих проектов и исследований

Ввиду низкой стоимости смартфонов и наличия встроенных в них различного рода сенсоров они все чаще находят применение при построении систем активной безопасности различного масштаба. Во-первых, следует отметить, что существует определенная научно-техническая база в области решений на основе смартфонов, ориентированных на распознавание опасного поведения водителя с использованием камеры смартфона в реальных условиях вождения транспортных средств. На сегодняшний день существует определенная категория мобильных приложений [8-10], задействующих в своей работе фронтальную камеру смартфона и методы компьютерной обработки изображений для повышения безопасности движения. Популярность подобного рода решений, построенных с использованием камеры смартфона, обусловлена возможностью получения видеоизмерений без необходимости соприкосновения с объектом наблюдения.

В главе представлены результаты анализа различных научно-технических решений к мониторингу поведения водителя с использованием камеры смартфона и выявлены основные особенности каждого из этих решений.

В исследовании [11] рассматривается подход к мониторингу поведения водителя, основанный на слежении за открытостью/закрытостью глаз водителя и определении частоты

морганий глаз. Данные лицевые характеристики позволяют описать текущее состояние водителя. В статье производится оценка производительности применения электрокардиограммы и камеры смартфона для распознавания морганий глаз водителя транспортного средства в ручном и полуавтономном вождении в различных условиях вождения. В процессе проведения экспериментов участвующим водителям было предложено оценить свой уровень бодрствования во время вождения по шкале Karolinska Sleepiness Scale с периодичностью каждые 15 минут.

Основная задача существующих исследований и решений, построенных с использованием смартфонов, заключается в предупреждении водителя об опасном состоянии и снижении риска возникновения состояния ослабленного внимания и усталости водителя. Рассмотрим исследования, связанные с распознаванием состояния усталости. В статье [12] демонстрируется система мониторинга, ориентированная на выявление признаков состояния сонливости в поведении водителя. В качестве признаков, характеризующих состояние сонливости в поведении водителя, используется состояние глаз, положение головы и присутствие рефлекса зевоты. Был проведен ряд экспериментов для оценки состояния водителя в некоторый момент времени, включая зевоту, кивки головой, моргание век и другие. Несмотря на то, что предложенный метод распознавания демонстрирует точность 93%, в статье не указывается, какой набор данных был использован в тестировании системы и были ли проведены эксперименты в различных условиях освещенности. В проведении экспериментов для оценки состояния водителя использовался смартфон с установленной операционной системой Android.

Другое исследование [13] описывает разработку мобильного приложения “Drowsy Driver Scleral-Area”, ориентированного на детектирование состояния сонливости водителя за рулем ТС. Предложенное мобильное приложение включает классификатор Хагг, представленный в библиотеке компьютерного зрения OpenCV [14] для описания лица и глаз водителя; а также, программный модуль, написанный на языке Java и отвечающий за обработку изображений и предупреждения о возможных опасных дорожных ситуациях. В качестве параметра, сигнали-

² <https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.igla.drivesafely>

зирующего о состоянии сонливости, используется длительность закрытия век. При превышении длительности закрытия век порога в 3 секунды, водитель считается дремлющим за рулем ТС. В статье подчеркивается, что был применен метод анализа плотности пикселей, который исключает необходимость ручного подсчета количества пикселей и определения порога усталости водителя. Данный метод включает в себя вычисление соотношения пикселей белого цвета ко всем пикселям белого цвета (соответствующее открытости глаз) в области распознавания на изображении. Авторы публикации [14] считают, что необходимо проведение дополнительных экспериментов в динамических сценах и при низких условиях освещенности.

Одно из недавно опубликованных научных исследований [15] описывает мобильное решение, использующее в своей работе фронтальную камеру смартфона для мониторинга поведения водителя и детектирования состояния усталости и ослабленного внимания. Представленный подход использует лицевые характеристики для определения закрытости глаз путем вычисления коэффициента соотношения ширины и высоты ($AR - aspect\ ratio$) глаза, показателя PERCLOS, а также состояния зевоты при помощи AR. Состояние ослабленного внимания регистрируется путем распознавания ситуации, когда водитель говорит по телефону во время вождения. Предложенный метод распознавания невнимательности водителя основан на использовании глубокой нейронной сети YOLOv2 [16] на примере набора данных COCO.

Стоит отметить, что рассмотренные исследования, главным образом, ориентированы на детектирование и оценку черт лица водителя в кабине транспортного средства во время движения. Основной фокус существующих исследований, использующих видеокамеру смартфона при мониторинге поведения водителя, направлен на выявление признаков ослабленного внимания и усталости. Одним из ключевых преимуществ приведенных исследований является то, что они одновременно рассматривают различные параметры, сигнализирующие об опасном состоянии в поведении водителя транспортного средства.

2. Концептуальная модель распознавания опасных состояний на основе лицевых характеристик

Наличие встроенной в смартфон фронтальной камеры позволяет считывать изображения лица человека и передавать полученную информацию алгоритмам компьютерного зрения, не требуя при этом установки дополнительного специализированного аппаратного оборудования. Хотя вычислительные ресурсы смартфонов ограничены в сравнении с привычными персональными компьютерами и серверными мощностями, выполнение методов компьютерного зрения, ориентированных на детектирование объектов в режиме реального времени, на мобильных устройствах возможно. На сегодняшний день активно используются лицевые характеристики (голова, лицо, нос, рот) при распознавании состояний сонливости и ослабленного внимания водителя. Совместное использование набора лицевых характеристик водителя потенциально способно повысить точность и достоверность полученных результатов распознавания, чем использование отдельно взятых параметров. Концептуальная модель, описывающая лицевые характеристики водителя при распознавании состояний сонливости и ослабленного внимания в поведении водителя, представлена на Рис. 1.

Детектирование опасных состояний в поведении водителя разделено на офлайн и онлайн режимы. В случае с онлайн режимом, распознавание текущей дорожной ситуации осуществляется только на смартфоне водителя во время движения. Для каждого кадра, получаемого с фронтальной камеры, оцениваются лицевые характеристики водителя с целью анализа возможной опасной ситуации, в которой он находится. Поиск и локализация объектов лица водителя (открытость и закрытость глаз [20]; продолжительность моргания век; направление взгляда [21]; угол поворота и наклона головы) осуществляется при помощи программных библиотек OpenCV и Dlib [22] с использованием алгоритмов компьютерного зрения и применением заранее построенных классификаторов признаков. Также, в онлайн режиме возможно



Рис. 1. Концептуальная модель системы распознавания опасных состояний на основе выявленных лицевых характеристик

использование дополнительного API в рамках операционной системы (например, Android Face recognition API) и предварительно обученных моделей (например, TensorFlow Lite Framework [23]). Dlib представляет собой одну из самых популярных и часто используемых библиотек для извлечения черт лица человека.

Детектор лица, созданный и используемый библиотекой Dlib, главным образом, построен с использованием гистограммы ориентированных градиентов и обучен на наборе данных iBUG 300-W [24], описывающем лицевые характеристики. Используя обученную модель, библиотека позволяет получить 68 характеристических точек лица человека, включая информацию о глазах, рту, носу, включая их положение и размеры на изображении.

Хорошо известной библиотекой является OpenCV, включающей алгоритмы компьютерного зрения, обработку изображений (например, метод Виола-Джонса (Viola-Jones)), изначально предназначенной для поиска лиц на изображениях в режиме реального времени). Набор лицевых точек водителя, вычисленный при помощи библиотеки OpenCV, позволяет определить положение его головы, угол наклона вперед/назад и поворота влево/вправо, 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). Распознанные параметры позволяют выявлять опасные состояния (состояние усталости, ослабленного внимания), оказывающие влияние на безопасность водителя при управлении ТС. Использование внешних библиотек компьютерного зрения и машинного обучения, Dlib и OpenCV, находит применение в распознавании лиц и получении параметров и атрибутов лица водителя (Рис. 2). В другом случае, офлайн режим характеризуется анализом, обработкой и оценкой данных, полученных от водителей транспортных средств, с использованием технологий облачных вычислений.

В процессе работы системы происходит накопление и обработка статистических данных от всех водителей. В таком случае, технологии машинного обучения, включая глубокие нейронные сети (например, Keras [25], MobileNet [26], YOLO [27]) и предварительно обученные на наборах данных модели позволяют повысить точность и корректность в распозна-

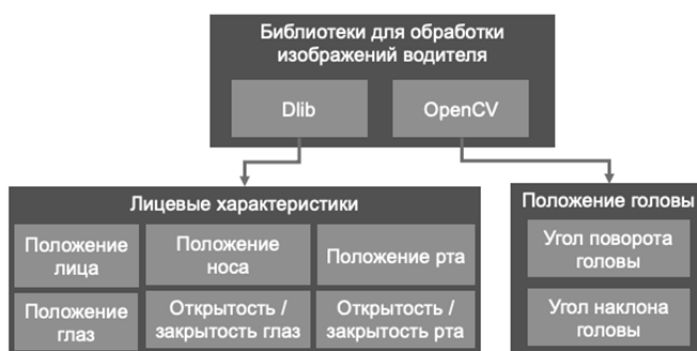


Рис. 2. Получение лицевых характеристик с использованием библиотек OpenCV и Dlib

вании как состояния ослабленного внимания, так и усталости водителя.

Детектирование опасных состояний в поведении водителя в онлайн и офлайн режимах позволяет повысить точность и полноту детектирования ослабленного внимания и усталости водителя в кабине транспортного средства следующим образом. Накопление, анализ и обработка информации, поступающей в облачный сервис в офлайн режиме и, таким образом, формирующей всю историю вождения всех водителей, позволяет создавать новые модели поведения того или иного водителя, проводить эксперименты, вычислять характерные параметры вождения, оказывающие влияние на эффективность работы схем распознавания опасных состояний. В таком случае, результаты работы облачного сервиса, а именно модели поведения водителей или, например, пороговые параметры для тех или иных паттернов поведения, могут быть размещены на смартфонах водителей, периодически обновляясь с целью непрерывного улучшения и корректировки распознавания сонливости и ослабленного внимания водителя уже во время вождения.

3. Схемы распознавания состояний ослабленного внимания и усталости водителя

Поведение водителя в кабине транспортного средства представляет собой комплексный результат взаимодействия водителя, транспортного средства и обстановки окружающей среды. Существует ряд потенциальных возможностей, как например, машинное обучение, потенциально способное повысить эффектив-

ность и расширить характеристику применения процесса распознавания текущей ситуации в кабине транспортного средства, является ли водитель сонным или невнимательным во время вождения путем обработки кадров изображения, полученных с фронтальной камеры смартфона. В этом случае признаки опасного поведения водителя за рулем транспортного средства могут быть выявлены на основе мониторинга физиологического поведения водителя.

Разработаны схемы распознавания опасных состояний, усталости (Рис. 3) и ослабленного внимания (Рис. 4), в поведении водителя, наблюдаемых внутри кабины транспортного средства, только на основе изображений с фронтальной камеры смартфона.

Признаки состояний ослабленного внимания и усталости у водителя характеризуется следующими наблюдаемыми параметрами: PERCLOS, поворот головы влево/вправо по отношению к туловищу, наклон головы вперед относительно туловища (момент, когда водитель «клюет носом»), продолжительность моргания век, частота моргания век, степень открытости рта человека (признаки зевоты).

Под сонливостью понимается чувство усталости и «слипания глаз», являющееся следствием нарушения сна и сопровождающееся постоянным или периодическим желанием уснуть во время, не предназначенное для сна. Скорость реакции замедляется, затрудняется принятия решений, а также понижается внимание, память, страдает координация движений. Стоит отметить, что водители сами зачастую не осознают, что находятся в состоянии сонливости.

Параметр PERCLOS характеризует долю времени, в течение которого веки водителя

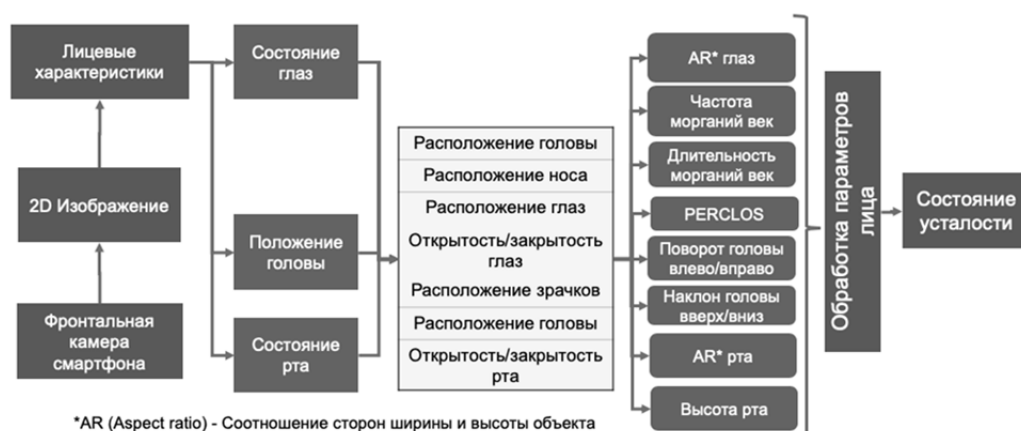


Рис. 3. Схема распознавания состояния усталости в поведении водителя

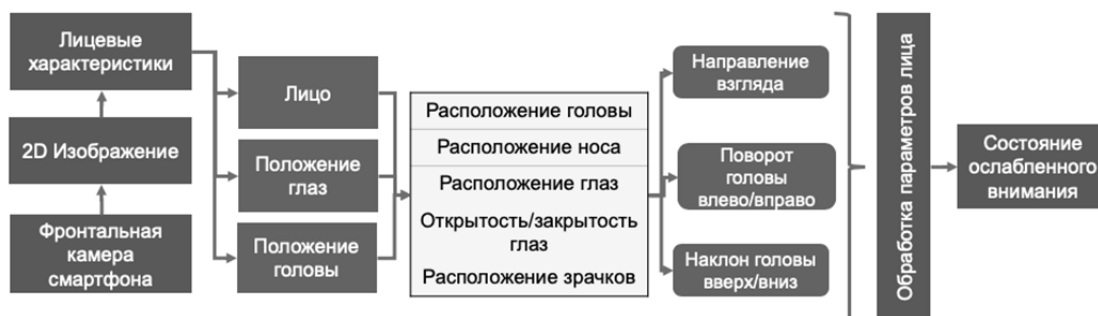


Рис. 4. Схема распознавания состояния ослабленного внимания в поведении водителя

закрыты более чем на 80% по оценкам наблюдателя или соответствующей прикладной программы. Если показатель PERCLOS наблюдается более 28% времени в течение одной минуты, то считается, что человек находится в состоянии сонливости.

При развитии состояния сонливости или ослабленного внимания время моргания глаз может стать более продолжительным и более медленным, может варьироваться частота моргания, и/или при моргании веки могут начать опускаться с небольшой амплитудой, например, пока глаза не начнут закрываться на время краткосрочных «микроснов», то есть состояний сна, которые длятся в течение приблизительно от трех до пяти секунд либо дольше, или до продолжительного сна. Дополнительным критерием определения сонливости служит частота моргания глаз. Продолжительность мигания век определяется как время, затраченное на смыкание верхнего и нижнего век. Кроме того, соотношение сторон (AR) каждого из глаз, определяемое как коэффициент соотношения между высотой и шириной контура глаза, часто

используется при детектировании состояния открытости или закрытости глаза. Зевота является важным и часто используемым индикатором при детектировании состояния сонливости водителя.

Величина открытости рта, вычисленная по его верхней и нижней границе, может быть использована при определении ситуации, когда водителем проявляются признаки зевоты.

Если высота открытости рта превышает некоторый заранее определенный порог, в этом случае человек считается зевающим. Коэффициент соотношения между высотой и шириной контура рта (AR) может быть применен для случаев детектирования состояния зевоты в поведении водителя.

Движения головы водителя, описывающие ее положение в каждый момент времени, могут быть получены с использованием статического 2D изображения с фронтальной камеры смартфона. С целью определения положения головы водителя, находящейся не строго параллельно, а под некоторым углом к плоскости камеры смартфона, вычисляются углы Эйлера, описывающие

вающие поворот объекта в трехмерном евклидовом пространстве. Углы поворота головы влево или вправо, а также наклона вперед или назад, могут быть применены при обнаружении отвлечения внимания водителя, или ситуации, когда водитель «клянет носом», то есть ему трудно становится удерживать голову в обычном положении, соответственно.

При выявлении состояния ослабленного внимания водителя используется определение положения его головы относительно туловища. В первом случае рассматривается ситуация, при которой голова водителя должна быть направлена прямо по направлению движения ТС. В результате анализа публикаций [17, 18], посвященных безопасности вождения ТС, было установлено, что при мониторинге опасных состояний в системах активной безопасности применяется параметр «Время до столкновения» (TTC – Time-To-Collision), определенный в качестве значения на интервале [2;3] сек. TTC зависит не только от текущих условий движения, но и, главным образом, 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. Таким образом, исходя из минимальных пороговых значений TTC и RT, у водителя определены признаки ослабленного внимания, если его голова не смотрит по направлению движения ТС более 1,5 секунд.

Во втором случае осуществляется наблюдение за прохождением водителем поворотов налево и направо, путем отслеживания направления движения ТС и фиксации его поворотов налево или направо. Предполагается, что у водителя обнаружены признаки ослабленного внимания, если при повороте ТС угол поворота головы водителя составляет менее 15° по направлению движения ТС или попросту отсутствует.

Существует большое количество отвлекающих внимание водителя факторов, таких как телефонные звонки, SMS сообщения, мультимедиа и навигационные системы. В результате исследований авторов работы [19] было установлено, что постоянное управление транспортом на протяжении четырех часов снижает скорость реагирова-

ния автомобилиста на изменение дорожной обстановки в два раза, а в течение восьми часов — до 5-7 раз. Термин «невнимательное вождение» подразумевает под собой управление ТС, при котором водитель не полностью сосредоточен на дорожных условиях.

4. Апробация предложенной концептуальной модели и схем распознавания опасных состояний

Мониторинг поведения водителя в кабине ТС во время движения с использованием фронтальной камеры смартфона заключается в непрерывном анализе его поведения по изображению с видеопотока с камеры смартфона и распознавании той или иной опасной ситуации. Стоит отметить, что в этом случае не используются заранее подготовленные модели машинного обучения на смартфоне водителя. Несмотря на это, существует ряд библиотек компьютерного зрения со встроенными методами машинного обучения, оптимизированными для работы в режиме реального времени и предназначенными для исполнения в мобильных приложениях на смартфонах. В конечном счете такие приложения ограничиваются анализом изображений и распознаванием характеристик головы водителя, его лицевых характеристик и оценкой вероятности возникновения дорожно-транспортного происшествия. Таким образом, область работы таких программных решений ограничена текущей дорожной ситуацией и смартфоном, на котором они выполняются. Апробация предложенных схем была выполнена путем разработки прототипа мобильного приложения Drive Safely, предназначенного для платформы Android и ориентированного на мониторинг поведения водителя непосредственно на смартфоне для выявления опасных состояний сонливости и ослабленного внимания у водителя в кабине ТС во время движения (Рис. 5).

Для удобства водителя мобильное приложение запускается совместно с привычной ему навигационной системой, отображаясь на переднем плане поверх остальных приложений перед водителем. Данный режим полезен при

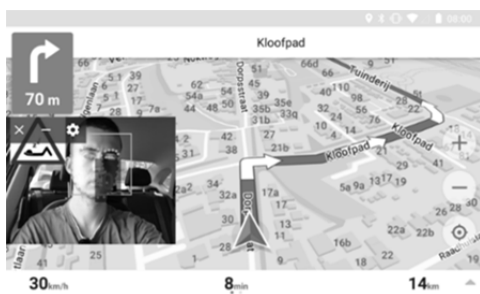


Рис. 5. Пример распознавания состояния усталости в поведении водителя

работе с картографическими приложениями. На Рис. 5 отображается предупреждение, сигнализирующее о распознанном состоянии сонливости у водителя. Предупреждающие графические иконки, накладываемые на изображение с фронтальной камеры смартфона, сигнализируют о приближающейся опасности. Как только распознается лицо водителя, глаза водителя и остальные лицевые характеристики выделяются точками на изображении с камеры смартфона, которые являются индикатором того, что они успешно найдены и определены.

Основными трудностями, возникающими при распознавании лица человека на изображениях, являются пространственные характеристики положения лица и его масштаб, разрешение изображения, возможные искусственные помехи на лице (например, очки, макияж, т.д.), условия освещенности, тени и отражение от окружающих объектов. Тестирование разработанного прототипа для распознавания состояния сонливости и ослабленного внимания было проведено с использованием независимого

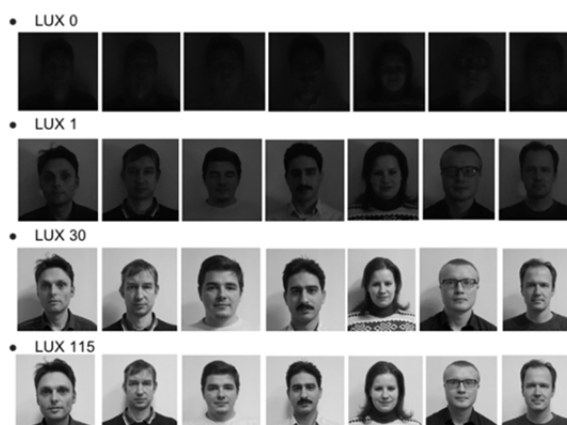


Рис. 6. Тестовая выборка из мужчин и женщин при разном уровне освещенности

эксперимента при участии случайной тестовой выборки людей разных пола и возрастов (Рис. 6) с использованием смартфона среднего ценового диапазона Samsung Galaxy S6. В ходе предложенного эксперимента оценивалась точность распознавания опасных состояний в поведении водителя в зависимости от уровня окружающей освещенности. В качестве различных уровней окружающей освещенности были выбраны Lux при 0, 1, характерные для гражданских сумерек, и Lux при 30, 115 – для дневного времени суток, до захода солнца (Рис. 7). Как можно заметить, точность распознавания лицевых характеристик человека становится приемлемой (0,8) при уровне окружающей освещенности равным 30 Lux.

С другой стороны, накапливаемая статистика вождения, включающая информацию о совершенных поездках различных водителей и

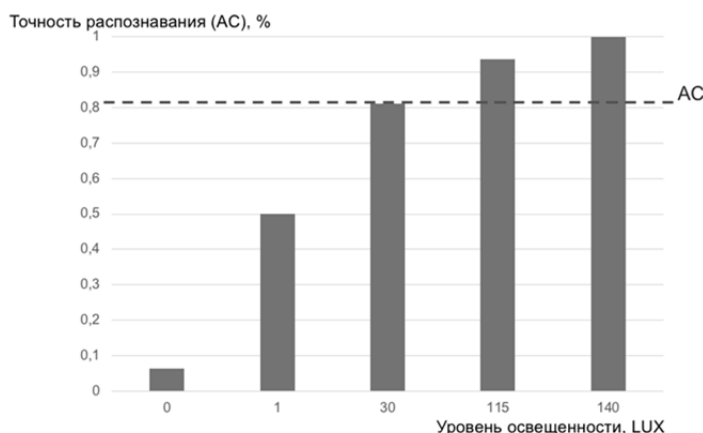


Рис. 7. Зависимость точности распознавания лицевых характеристик от уровня освещенности

описывающая историю их взаимодействия с мобильным приложением, позволяет не только расширить возможности использования мобильных приложений, но и, главным образом, персонализировать и адаптировать алгоритмы распознавания состояний усталости и ослабленного внимания к поведению и стилю вождения водителя в кабине ТС. К такой информации относится информация о водителе (имя, возраст, стаж вождения и др.), транспортном средстве (тип транспортного средства, уровень топлива, т.д.), параметрах вождения (тип поездки – на дальнее расстояние по трассе или в пределах города, время в пути без перерыва на отдых, т.д.) и дорожной ситуации (заторы, ДТП, дорожные перекрытия, погодные условия, т.д.).

Заключение

С целью объединения знаний о методах распознавания состояния сонливости и ослабленного внимания в поведении водителя, в статье предложена концептуальная модель и схемы обнаружения признаков небезопасного поведения водителя в кабине транспортного средства. Мониторинг опасного поведения водителя построен на основе обработки и анализа изображений водителя, считываемых с фронтальной камеры смартфона в кабине транспортного средства. Он включает в себя детектирование лицевых характеристик, описывающих состояние и положение глаз и рта, направление и движения головы водителя. Распознавание опасного состояния разделено на два режима, а именно офлайн и онлайн. В первом случае, онлайн режим характеризуется распознаванием текущей ситуации в кабине только на смартфоне водителя во время движения. С другой стороны, офлайн режим дополнительно обеспечивает накопление, обработку и анализ поездок не только для одного выбранного водителя, но и для всех участников дорожного движения за счет использования технологий облачных вычислений.

В рамках дальнейшей работы планируется собрать набор данных по статистике вождения водителей различных категорий и мастерства вождения, а также разных возрастов в реальных условиях управления транспортными сред-

ствами с целью повышения точности и полноты распознавания небезопасных дорожных ситуаций. Оценка наблюдаемых параметров поведения водителя и их влияние на безопасность вождения будет произведена с использованием инструментов и алгоритмов машинного обучения и анализа данных.

Литература

1. Global status report on road safety 2018. Geneva: World Health Organization; 2018. Licence: CC BY- NC-SA 3.0 IGO [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/277370/WHO-NMH-NVI-18.20-eng.pdf> (дата обращения: 16.04.2019).
2. Owens, J.M., Dingus, T.A., Guo, F., Fang, Y., Perez, M., McClafferty, J., Tefft, B. Prevalence of Drowsy Driving Crashes: Estimates from a Large-Scale Naturalistic Driving Study. (Research Brief.) Washington, D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety, 2018.
3. Dinges, D., Grace, R., PERCLOS: A valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance, TechBrief NHTSA, Publication No. FHWMACRT-98-006, 1998.
4. Fazeen, M., Gozick, B., Dantu, R., Bhukhiya, M., Gonzalez, M.C., Safe Driving Using Mobile Phones, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 13, issue 3, pp. 1462-1468, 2012.
5. Лашков, И.Б., Подход к распознаванию стиля вождения водителя транспортного средства на основе использования сенсоров смартфона // Информационно-управляющие системы, 2018. № 5. С. 2–12.
6. Лашков, И.Б., Кашевник, А.М., Онтологическая модель системы предупреждения аварийных ситуаций на основе поведения водителя в кабине транспортного средства // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2018. № 4. С. 11-19.
7. Lashkov, I., Smirnov, A., Kashevnik, A., Parfenov, V., Ontology-Based Approach and Implementation of ADAS System for Mobile Device Use While Driving, Proceedings of the 6th International Conference on Knowledge Engineering and Semantic Web, Moscow, CCIS 518, pp. 117-131, 2015.
8. Ramachandran, M., Chandrakala, S., Android OpenCV based effective driver fatigue and distraction monitoring system, 2015 International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT), pp. 262-266, 2015.
9. Abulkhair, M., Alsahli, A.H., Taleb, K.M., Bahran, A.M., Alzahrani, F.M., Alzahrani, H.A., Ibrahim, L.F., Mobile Platform Detect and Alerts System for Driver Fatigue, Procedia Computer Science, vol. 62, pp. 555–564, 2015.
10. García-García, M., Caplier, A., Rombaut, M., Driver Head Movements While Using a Smartphone in a Naturalistic Context, 6th International Symposium on Naturalistic Driving Research, Jun 2017, The Hague, Netherlands. 8, pp. 1-5, 2017.
11. Schmidt, J., Laarousi, R., Stolzmann, W., Karrer, K., Eye blink detection for different driver states in conditionally

- automated driving and manual driving using EOG and a driver camera, *Behavior Research Methods*, vol. 50, iss. 3, pp. 1088-1101, 2018.
12. Galarza, E. E., Egas, F. D., Silva, F., Velasco, P. M., Galarza E., Real Time Driver Drowsiness Detection Based on Driver's Face Image Behavior Using a System of Human Computer Interaction Implemented in a Smartphone, *Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems*, pp. 563-572, 2018.
 13. Mohammad, F., Mahadas, K., Hung, G. K., Drowsy driver mobile application: Development of a novel scleral-area detection method, *Computers in Biology and Medicine*, vol. 89, pp. 76-83, 2017.
 14. Bradski, G., Kaehler, A., *Learning OpenCV: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library*, O'Reilly Media, Inc., 2nd edition, 2013.
 15. Nambi, A. U., Bannur, S., Mehta, I., Kalra, H., Virmani, A., Padmanabhan, V. N., Bhandari, R., Raman, B., HAMS: Driver and Driving Monitoring using a Smartphone, *Proceedings of the 24th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '18)*. ACM, New York, NY, USA, pp. 840-842, 2018.
 16. Redmon, J., Farhadi, A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 6517-6525, 2017.
 17. Sidaway, B., Fairweather, M., Sekiya, H., Mcnitt-Gray, J., Time-to-Collision Estimation in a Simulated Driving Task, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 38, issue 1, pp. 101-113, 1996.
 18. Kiefer, R. J., Flannagan, C. A., Jerome, C. J., Time-to-Collision Judgments Under Realistic Driving Conditions, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 48, issue 2, pp. 334-345, 2006.
 19. Lisper, O., Eriksson, B., Effect of the length of a rest break and food intake on subsidiary reaction-time performance in an 8-hour driving task, *Journal of Applied Psychology*, vol. 65, issue 1, pp. 117-122, 1980.
 20. Wenhui, D., Peishu, Q., H. Jing, Driver fatigue detection based on fuzzy fusion, *Proceedings of the Chinese Control and Decision Conference (CCDC '08)*, pp. 2640-2643, Shandong, China, July 2008.
 21. Bergasa, L., Nuevo, J., Sotelo, M., Barea, R., Lopez, M., Real-Time System for Monitoring Driver Vigilance, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 7, no. 1, pp. 63-77, 2006.
 22. King, D. E., Dlib-ml: A machine learning toolkit, *Journal of Machine Learning Research*, vol. 10, pp. 1755-1758, 2009.
 23. Ignatov, A., Timofte, R., Szczepaniak P., Chou, W., Wang, K., Wu, M., Hartley, T., Gool, L. V., AI Benchmark: Running Deep Neural Networks on Android Smartphones, *ECCV Workshops 2018*, pp. 288-314, 2018.
 24. Sagonas, C., Antonakos, E., Tzimiropoulos, G., Zafeiriou, S., Pantic, M., 300 faces In-the-wild challenge: Database and results, *Image and Vision Computing (IMAVIS), Special Issue on Facial Landmark Localisation "In-The-Wild"*, issue 47, pp. 3-18, 2016.
 25. Gulli, A., Pal, S., *Deep Learning with Keras*, Packt Publishing, p. 296, 2017.
 26. Howard A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., Adam, H., *MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications*, *Computing Research Repository*, 9 p., 2017.
 27. Redmon, J., Divvala, S.K., Girshick, R.B., Farhadi, A., You only look once: Unified, real-time object detection, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 779-788, 2016.

Лашков Игорь Борисович. Научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Количество печатных работ: более 15. Область научных интересов: управление знаниями, профилирование, базы данных, мобильные технологии, облачные технологии. Email: igla@iias.spb.su

Кашевник Алексей Михайлович. Старший научный сотрудник Федерального бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН (СПИИРАН). Доцент кафедры информационных систем факультета информационных технологий и программирования Университета ИТМО. Защитил кандидатскую диссертацию в 2008 году. Количество печатных работ: более 150. Область научных интересов: управление знаниями, робототехника, профилирование, онтологии, интеллектуальные пространства, логистические системы. Email: alexey@iias.spb.su

Determination of driver dangerous states using smartphone camera-based measurements while driving

I. B. Lashkov, A. M. Kashevnik

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS),
St. Petersburg, Russia

Abstract. The paper considers the reference model for dangerous state recognition system based on the camera readings describing vehicle driver's facial features. The model includes the developed schemes for determination of potentially unsafe driver's behavior, observable by a number of visual

cues, at each moment of vehicle movement. These schemes are focused on recognition of driver's drowsiness and distraction, and tracking from camera video stream with aid of image processing methods and describing a set of facial features, including eyes, gaze direction, head pose, etc. To early recognize and classify the particular dangerous states of the driver the reference model for face features recognition is proposed, built upon the general schemes and characterizing visual driving behavior in certain situations that can potentially risk a driver. The evaluation of the proposed reference model was tested with smartphone-based prototype mobile application and showed preliminary results that shows performance and efficiency improvement in recognition of dangerous driving states while driving.

Keywords: driver, driving behavior, smartphone, dangerous situation, vehicle.

DOI 10.14357/20718632190209

References

1. Global status report on road safety 2018. Geneva: World Health Organization; 2018. Licence: CC BY- NC-SA 3.0 IGO, Available at: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/277370/WHO-NMH-NVI-18.20-eng.pdf> (accessed April 16, 2019).
2. Owens, J.M., Dingus, T.A., Guo, F., Fang, Y., Perez, M., McClafferty, J., and Tefft, B. Prevalence of Drowsy Driving Crashes: Estimates from a Large-Scale Naturalistic Driving Study. (Research Brief.) Washington, D.C.: AAA Foundation for Traffic Safety, 2018.
3. Dinges, D., and Grace, R. PERCLOS: A valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance, TechBrief NHTSA, Publication No. FHWMCR-98-006, 1998.
4. Fazeen, M., Gozick, B., Dantu, R., Bhukhiya, M., and Gonzalez M.C., Safe Driving Using Mobile Phones, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 13, issue 3, pp. 1462-1468, 2012.
5. Lashkov, I.B., Smartphone-based approach to determining driving style with on-board sensors, Information and Control Systems, 2018, Vol. 5, pp. 2-12.
6. Lashkov, I.B., and Kashevnik, A.M., An Ontology Model for Dangerous Situation Prevention Based on the In-cabin Driver Analysis, Intellectual Technologies on Transport, 2018, Vol. 4, pp. 11-19.
7. Lashkov, I., Smirnov, A., Kashevnik, A., and Parfenov, V., Ontology-Based Approach and Implementation of ADAS System for Mobile Device Use While Driving, Proceedings of the 6th International Conference on Knowledge Engineering and Semantic Web, Moscow, CCIS 518, pp. 117-131, 2015.
8. Ramachandran, M., and Chandrakala, S., Android OpenCV based effective driver fatigue and distraction monitoring system, 2015 International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCCT), pp. 262-266, 2015.
9. Abulkhair, M., Alsahli, A.H., Taleb, K.M., Bahran, A.M., Alzahrani, F.M., Alzahrani, H.A., and Ibrahim, L.F., Mobile Platform Detect and Alerts System for Driver Fatigue, Procedia Computer Science, vol. 62, pp. 555-564, 2015.
10. García-García, M., Caplier, A., and Rombaut, M., Driver Head Movements While Using a Smartphone in a Naturalistic Context, 6th International Symposium on Naturalistic Driving Research, Jun 2017, The Hague, Netherlands. 8, pp. 1-5, 2017.
11. Schmidt, J., Laarousi, R., Stolzmann, W., and Karrer, K., Eye blink detection for different driver states in conditionally automated driving and manual driving using EOG and a driver camera, Behavior Research Methods, vol. 50, iss. 3, pp. 1088-1101, 2018.
12. Galarza, E. E., Egas, F. D., Silva, F., Velasco, P. M., and Galarza, E., Real Time Driver Drowsiness Detection Based on Driver's Face Image Behavior Using a System of Human Computer Interaction Implemented in a Smartphone, Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems, pp. 563-572, 2018.
13. Mohammad, F., Mahadas, K., and Hung, G. K., Drowsy driver mobile application: Development of a novel scleral-area detection method, Computers in Biology and Medicine, vol. 89, pp. 76-83, 2017.
14. Bradski, G., Kaehler, A., Learning OpenCV: Computer Vision in C++ with the OpenCV Library, O'Reilly Media, Inc., 2nd edition, 2013.
15. Nambi, A. U., Bannur, S., Mehta, I., Kalra, H., Virmani, A., Padmanabhan, V. N., Bhandari R., and Raman, B., HAMS: Driver and Driving Monitoring using a Smartphone, Proceedings of the 24th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '18). ACM, New York, NY, USA, pp. 840-842, 2018.
16. Redmon, J., and Farhadi, A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger, 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 6517-6525, 2017.
17. Sidaway, B., Fairweather, M., Sekiya, H., and McNitt-Gray, J., Time-to-Collision Estimation in a Simulated Driving Task, Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol. 38, issue 1, pp. 101-113, 1996.
18. Kiefer, R. J., Flannagan, C. A., and Jerome, C. J., Time-to-Collision Judgments Under Realistic Driving Conditions, Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol. 48, issue 2, pp. 334-345, 2006.
19. Lisper, O., and Eriksson, B., Effect of the length of a rest break and food intake on subsidiary reaction-time performance in an 8-hour driving task, Journal of Applied Psychology, vol. 65, issue 1, pp. 117-122, 1980.

20. Wenhui, D., Peishu, Q., H. and Jing, Driver fatigue detection based on fuzzy fusion, Proceedings of the Chinese Control and Decision Conference (CCDC '08), pp. 2640–2643, Shandong, China, July 2008.
21. Bergasa, L., Nuevo, J., Sotelo, M., Barea, R., and Lopez, M., Real-Time System for Monitoring Driver Vigilance, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 7, no. 1, pp. 63–77, 2006.
22. King, D. E., Dlib-ml: A machine learning toolkit, Journal of Machine Learning Research, vol. 10, pp. 1755–1758, 2009.
23. Ignatov, A., Timofte, R., Szczepaniak, P., Chou, W., Wang, K., Wu, M., Hartley, T., and Gool, L. V., AI Benchmark: Running Deep Neural Networks on Android Smartphones, ECCV Workshops 2018, pp. 288–314, 2018.
24. Sagonas, C., Antonakos, E., Tzimiropoulos, G., Zafeiriou, S., and Pantic, M., 300 faces In-the-wild challenge: Data-base and results, Image and Vision Computing (IMAVIS), Special Issue on Facial Landmark Localisation "In-The-Wild", issue 47, pp. 3–18, 2016.
25. Gulli, A., and Pal, S., Deep Learning with Keras, Packt Publishing, p. 296, 2017.
26. Howard A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., and Adam, H., MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications, Computing Research Repository, 9 p., 2017.
27. Redmon, J., Divvala, S.K., Girshick, R.B., and Farhadi, A., You only look once: Unified, real-time object detection, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 779–788, 2016.

Lashkov I.B. Ph.D., Researcher, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Author of more than 15 research papers. Research interests are knowledge management, profiling, mobile technologies, cloud technologies. Email: igla@ias.spb.su; 14th Line, 39, Saint-Petersburg, 199178, Russia; phone +7 (812) 328-80-71.

Kashevnik A.M. Ph.D., Senior researcher, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Author of more than 200 research papers. Research interests: knowledge management, competence management, cloud computing, human-computer interaction, robotics, user profiling, ontologies, smart spaces. Email: alexey@ias.spb.su; 14th Line, 39, Saint-Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-8071, fax +7(812)328-0685.