

Предлагаются основные направления устойчивого развития киберфизического транспортного компьютеринга, связанные со средствами телекоммуникаций, точного позиционирования, online e-картографии, дифференциальной навигации, Internet of Car (e-инфраструктура автомобиля, дорог и облачных сервисов. Представлены компоненты киберфизической системы мониторинга и управления дорожным движением в реальном времени, которая основывается на использовании глобальных систем позиционирования и навигации (GPS, GPRS), интеллектуальных дорожных контроллеров, средств радиочастотной идентификации автомобилей и инфраструктуры дорожного движения.

### **1 Облачный компьютеринг и системы управления транспортом**

В современном мире развивается e-инфраструктура дорожного движения в рамках сравнительно нового понятия Internet of Car. В [1-7] представлена информация об использовании существующих и будущих e-инфраструктур для улучшения качества жизни людей. Разработка e-инфраструктуры для организации и проведения научных исследований является одним из ключевых направлений на рынке электронных технологий. Одним из примеров применения e-инфраструктуры являются научно-образовательные мероприятия, которые основываются на использовании облачных или web-сервисов в режиме online. Кроме того, e-инфраструктура является необходимым условием в настоящее время для функционирования государственных и социальных служб, для создания умных правительств, городов, домов, а также мониторинга и управления транспортными потоками в режиме online. Кроме того, создание электронной инфраструктуры дает возможность создавать временные творческие коллективы, включающие специалистов из различных сфер деятельности, в том числе и из других стран для решения сложных научно-технических проблем, предполагающих наличие облачных сервисов, а также умных вещей для сбора, хранения, анализа больших данных, реализации сервисов моделирования на основе использования современных специализированных логических процессоров [8]. Одним из примеров, подтверждающих значимость e-инфраструктуры является создание институции, которая называется The European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI). Данная организация координирует усилия европейских

университетов и компаний для создания стандартов и прототипов e-инфраструктур, направленных на обеспечение дефективного и квази-оптимального функционирования киберфизических сервисов, связанных с проблемами мониторинга и управления во всех сферах человеческой деятельности. Современное представление e-инфраструктуры в Европе включает сеть вычислительных и информационных дата центров, облачные сервисы, гаджеты аутентификации, авторизации и интерфейсные связи с облаками [9, 10].

Практика последних 10 лет свидетельствует о востребованности e-инфраструктуры и облачных сервисов для большей части населения планеты в режиме online 24/7 [11-15]. Облачные сервисы [16] обеспечивают легкий масштабируемый доступ к приложениям, ресурсам и услугам, которые полностью управляются провайдером облачных сервисов. Свойство динамического масштабирования занимает ключевое значение для удовлетворения потребностей пользователей и заказчиков [17], которое так же позволяет существенно сократить расходы на развертывание собственных ресурсов и выделения персонала для управления службой.

В современном мобильном мире с высокой пропускной способностью и повсеместным доступом к сети, пользователи могут свободно сотрудничать через границы, таким образом в создающейся среде должны быть четко описаны границы области доступа к данным и услугам для участников разных частных и государственных организаций. Следовательно, доверие и идентичность занимает ключевую позицию в качестве отдельного слоя в e-инфраструктуре экосистемы. Федеративные авторизации и аутентификации инфраструктуры упрощают доступ к меж-организационным ресурсам, позволяя контролировать безопасный доступ [18] к разнообразно расположенным источникам, что позволяет обеспечить пользователям надежную среду хранения ценных и целостных данных без всякого ущерба. Данный слой соединяет мощность вычислительной сети и инфраструктуры данных, создавая открытое, надежное и безопасное европейское пространство.

В [19] представлено стратегическое видение британской электронной инфраструктуры, где e-инфраструктура — это объединения политических, технологических и административных служб для легкого и экономически эффективного, совместного использования распределенных электронных ресурсов. E-инфраструктуру следует рассматривать как живую экосистему, которая является открытой и

доступной для международных сотрудничеств и постоянно адаптируется к изменяющимся требованиям жизни. Прорывы в создании отдельных компонентов электронной инфраструктуры должна освободить ученых от сложных и отвлекающих бизнес-вычислений. Следует отметить, что для благополучного развития исследований в этой области [20] важна открытая конкуренция, сотрудничество и технологические инновации. Е-инфраструктура может быть установлена только путем совместного и действительно общего стратегического плана усилий между пользователями и организациями, участвующих в разработке и эксплуатации электронных инфраструктур. Достижения значительного прогресса на пути к развитию е-инфраструктуры осуществляется за счет инвестирования: в 2011 году британское правительство выделило 160 млн £ в области высокопроизводительных вычислений и сетей; в 2012 году 189 млн £ для работы с большими объемами данных и энерго-эффективных вычислений.

Таким образом, е-инфраструктура в Великобритании сегодня является сложным взаимодействием сервисов, электронных устройств, сетей, услуг передачи данных, кибербезопасности и навыков людей, которые создают работу электронной инфраструктуры. Как показывает практика способность генерировать, собирать и обрабатывать большие данные для эксплуатации в промышленности, в научных кругах и государственных учреждениях дает реальную возможность повысить конкурентоспособность и рост экономики каждого государства.

Е-инфраструктура имеет решающее значение для инноваций в целом ряде отраслей, например, она играет важное значение полного использования возможностей и экономии ресурсов [21], которые приносят технологические разработки. Так же занимает важное значение в экосистеме ресурсов, что позволяет выполнять крупномасштабное моделирование, анализ и визуализацию больших данных. Е-инфраструктура относится к экосистеме ресурсов, которая осуществляет распределенное сотрудничество, крупномасштабное моделирование, вычисления и анализ больших данных, включает в себя разработку и использование передовых инструментов для использования потенциала имеющихся данных и ресурсов (рис. 1).

В [22] рассматривается история развития систем управления городским транспортом и описывается использование компьютерных систем для управления трафиком. Показано, что повышение производительности компьютеров, появление LAN-сетей и облачных вычислений (cloud computing) позволило усовершенствовать техно-

логии управления, прошедшие путь развития от централизованных моделей до распределенных систем на основе мобильных гаджетов и облачных технологий.

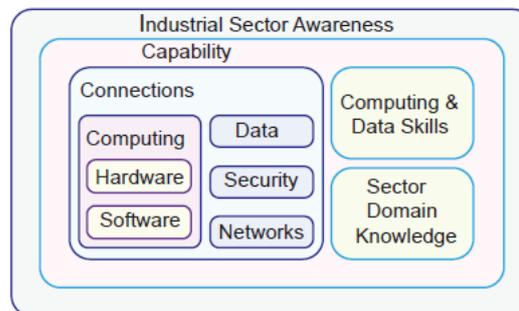


Рис. 1. Представление компонентов Е-инфраструктуры

Предложена система PtMS (parallel transportation management systems), ядром которой является «Artificial transportation system». Здесь параллельно с действующей транспортной системой используется виртуальная среда, которая включает базы данных со стандартными шаблонами управления трафиком, агентами и сценариями движения. В качестве мобильных сенсоров выступают любые детекторы трафика. Суть исследования сводится к интеллектуальной облачной обработке дорожных ситуаций, которые отслеживаются дорожными сенсорами. Актуаторные воздействия по управлению трафиком принимаются на основе заранее прописанных алгоритмов и стратегий. В случае отсутствия шаблона решения сложная задача декомпозируется на более простые. Преимущества. Данный подход “local simple, remote complex”, предложенный в статье, ориентирован на интеллектуальную организацию управления транспортом в рамках Smart Cloud Traffic Control. Предложенная PtMS является составной частью системы «Adapt» (Adaptive Platforms for Transportation Systems), которая состоит из 3 уровней: организации, координации и выполнения заданий по обработке дорожных ситуаций. Организационный уровень представлен 4 функциями: декомпозиция задачи, планирование, инкапсуляция и управление. Это дает возможность существенно повысить качество принимаемых регуляторных воздействий за счет усложнения алгоритмов. Недостатки. За определенный промежуток времени можно обработать ограниченное количество перекрестков. Для запуска и тестирования системы на сервере накладываются существенные ограничения по вычислительной мощности и памяти. Такие ограничения не соответствуют реальным дорожным условиям в крупных городах, поэтому система должна использовать несколько серверов для online решения задач

управления транспортом на большом количестве перекрестков. Для хранения данных о трафике и дорожных ситуациях необходимы дата центры. В статье предложено два решения данной проблемы: оборудовать центры суперкомпьютерами [23], либо использовать технологии облачных вычислений, таких как Google's Map-Reduce, IBM Blue Cloud и Amazon.

В [24] рассматривается стандарт IEEE 802.21, который поддерживает разные типы систем беспроводной связи, такие как семейство IEEE 802.11, IEEE 802.16 (WiMAX) и технологии сотовой передачи данных, разработанные группами 3GPP и 3GPP2. IEEE 802.21 предоставляет независимую передачу – Media Independent Handover (МИН) данных в сотовых сетях. Фреймворк IEEE 802.21 состоит из компонентов: функция МИН (МИНФ) и Service Access Points (SAP). Функция МИН является модулем, который разрабатывается для того, чтобы предоставить теоретические сервисы на более высоких уровнях посредством независимого медиа-интерфейса. МИНФ состоит из трех основных сервисов: сервис медиа-независимых событий (MIES), сервис медиа-независимых команд (MICS), сервис медиа-независимой информации (MIIS). Стандартные сервисные точки доступа и сервисные примитивы позволяют приложениям МИНФ иметь общий доступ к разнородным медиа-слоям. Предлагается система FANSCI (fast handover scheme for car-to-car communication), предназначенная для адаптации стандарта IEEE 802.21 передачи данных, необходимых для непрерывной и бесперебойной связи в гетерогенных сетях. FANSCI состоит из двух компонентов: вышка (устанавливается в центре управления сетью) и автомобильный компонент (устанавливается в автомобиле), реализация FANSCI продемонстрирована на рис. 2.

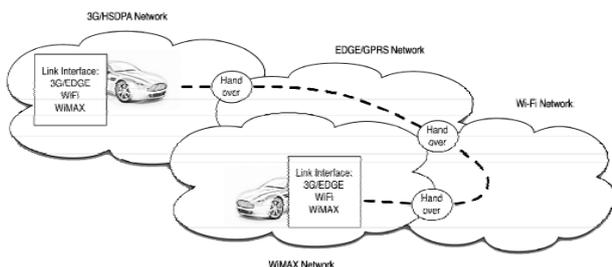


Рис. 2. Реализация FANSCI

Автомобильный компонент включает в себя: коммуникационный модуль Car-to-Car (состоящий из менеджера соединения, коллектора GPS-информации, коллектора данных с сенсоров автомобиля, коллектора информации о двигателе) и модуль обработки данных на клиентской стороне (состоящий из менеджера инициации связи, трекера сигнала, буферного компьютера и модуля передачи данных). Компонент вышки включает: коммуникационный модуль Car-to-Car (со-

стоящий из обработчика трафика, менеджера аутентификации, менеджера маршрутизации) и предлагаемый модуль для передачи данных (состоящий из менеджера запросов на передачу данных, функциональный МИН модуль, буфер трафика и редиректор трафика). С технологической точки зрения, технология FANSCI может быть имплементирована в любые беспроводные сети, так как она основана на стандарте IEEE 802.21, который базируется на IEEE 802.11 (Wi-Fi) и IEEE 802.16 (WiMAX). Водитель может постоянно получать информацию о пробках, дорожной ситуации, других машинах, едущих по перекрестку, неисправных двигателях автомобилей, едущих впереди и других, находящихся поблизости, а также о доступных гетерогенных сетях. Внедрение технологии FANSCI для осуществления коммуникации между автомобилями способствует созданию беспилотных автомобилей.

В [25] демонстрируется облачный контроль для принятия соответствующих мер по избежанию опасного вождения. Автономные транспортные средства, движущиеся в городской среде, обрабатывают информацию и принимают решения, касающиеся движения в режиме «stop-and-go», согласно дорожным знакам и правилам, обгона других ТС, смены полосы движения, входа и выхода из потока трафика. Автономные ТС оборудованы различными типами радаров, инерциальной навигацией, системой GPS, компасом и системами управления, которые как правило, стоят намного дороже самих ТС. Предложен новый control algorithm-cloud, который обладает хорошей производительностью и гибкостью. Для создания системы автономного вождения решаются три задачи: 1) самостоятельное управление автомобилем, которое включает в себя старт, ускорение, замедление движения, резкие или плавные повороты. 2) движение автомобиля вдоль дороги или по центру. 3) безопасное вождение в трафике, которое требует механизма определения препятствий как для водителя, так и для пешехода. Программная архитектура состоит из четырех частей: интерфейс сенсоров для дороги, сбор информации о полосе движения и препятствиях, планировщик маршрута и интерфейс ТС. Аппаратная архитектура так же состоит из четырех частей: Sensor Layer, Preprocess Layer, Integration Layer and Vehicle Layer. Для предотвращения столкновений, автоматически управляемые автомобили должны уметь распознавать ситуацию на полосе проезда, а также на соседних полосах так, как это делает водитель, для безопасного вождения. Для этого в облачном алгоритме управления (control algorithm-cloud) используется метод MOR (My Own Range). В нор-

мальных условиях, для получения MOR, необходимо рассчитать угол и расстояние между машиной и препятствиями, которые обнаруживаются с помощью ультразвуковых датчиков и камер. Однако, есть особые случаи, например, когда машина, едущая по соседней полосе, имеет намерение осуществить смену полосы, включив сигнал поворота. В таких ситуациях необходимо сделать некоторое прогнозирование. Его можно осуществить, отталкиваясь от дистанции и угла поворота впереди идущего автомобиля. Также намерения о дальнейшем движении можно определить за счет режимов вождения, которые в статье разделяют на 4 основных: 1) нормальное вождение, 2) замедление и торможение, 3) обгон с левой полосы, 4) обгон с правой полосы. Вычисляются корректные команды для ускорения, торможения и рулевого управления. Эта задача выполняется с помощью контроллеров скорости и рулевого управления. Основываясь на правилах, сгенерированных с помощью анализа параметров всех контроллеров, можно выполнять команды движения и осуществлять безопасное движение в потоке трафика с использованием облачного управления.

## **2 Модели городских инфраструктур дорожно-го движения**

В [26] предлагается инновационный механизм параллельного сетевого управления трафиком для облачных вычислений, основанный на планировщике пакетов НТВ (Hierarchical Token Buckets). Отличием между облаком и традиционными центрами данных является масштаб трафика данных и одновременный доступ пользователей. Облако должно гарантировать доступ ко всем ресурсам и услугам, посредством настроенных SLA. Однако в облаке могут быть сотни тысяч пользователей, которые одновременно обращаются к ресурсу, что создает чрезвычайно сильное давление на облако. Для использования облачных технологий требуются большие полосы пропускания, однако на сегодняшний день с помощью НТВ можно достичь лишь скоростей 0,5 Gbps, что делает невозможным применение данного метода в облаках. Для решения данной проблемы можно использовать механизмы программного и аппаратного распараллеливания обрабатываемых данных на многоядерных процессорах, при условии использования многоуровневой сетевой структуры и модификации последовательного кода для параллельной обработки. Используется технология параллелизации многоядерных процессоров FIFO без блокировки. Результаты моделирования подтверждают, что параллельная пропускная способность НТВ, основанный на FIFO без блокировки, может легко превысить скорость 1 Гбит/с

и достичь максимальной скорости 2 Гбит/с, увеличив производительность до 300% по сравнению с традиционным НТВ. Данная технология разрабатывалась только под Linux, задачи работы с другими операционными системами не рассмотрены.

В [27] представлен подход управления светофором, с помощью агента, который эффективно управляет движением в соответствии с его текущим состоянием. В рассматриваемой дорожной инфраструктуре каждый агент контролирует светофор на перекрестке по циклу «наблюдение-решение-действие»: агент наблюдает за текущим состоянием движения в узле, затем использует полученную информацию для сравнения с правилами движения и эффективного управления потоком. Значительно сокращено среднее время задержки каждого автомобиля на светофорах по сравнению с другими подходами. Чтобы упростить задачу управления движением, мир реальных агентов заменяется виртуальным симулятором движения. Агент, предложенный в работе для управления светофором, состоит из трех компонентов: наблюдателя движения, базы знаний и механизма вывода. Были проведены эксперименты с контролем движения в нескольких соединенных узлах, получен результат: значительно сокращает среднее время задержки каждого автомобиля на светофорах.

Многие исследователи пытаются модернизировать текущую систему трафика с фиксированными временными задержками светофора в интеллектуальную систему с временной задержкой в зависимости от частоты трафика. Были созданы математические модели для светофоров, а затем классические алгоритмы и идеи, которые использовались для управления световым сигналом. Изобретение [28] включает микропроцессор, устройство ручного ввода, принудительное коммутационное устройство и интеллектуальное устройство обнаружения. Система может автоматически регулировать параметры управления светофором в соответствии с изменениями в потоке транспорта в разных направлениях, повышая эффективность движения на перекрестках. В работе [29] представлена нейронная сеть (НС) служит основой для законов управления, при этом оценка веса НС, происходящая в режиме реального времени в замкнутом режиме, осуществляется с помощью алгоритма стохастической аппроксимации одновременного возбуждения состояний. Процедура обучения может длиться месяцы или даже годы. Результаты моделирования показали 10%-ное сокращение времени ожидания транспортных средств. Были размещены 2 электромагнитных датчика на каждой полосе для подсчета количества прохо-

дящих транспортных средств. Предложен контроллер нечеткой логики, который отвечает за продолжительность зеленого света в соответствии с условиями трафика, и конечный автомат для управления последовательностью состояний, через который должен циклически проходить контроллер нечеткого трафика. В [30, 31] предложен новый подход к точному прогнозу трафика на перекрестке с помощью технологии беспроводных сенсорных сетей включающих взаимодействие умных узлов: управления, индикаторы и транспортных средств. В [32-34] предложен интегральный контроллер скорости и алгоритм управления перегрузкой, предназначенный для интернета, для решения проблемы перегруженности на интересующем участке дороги сложной дорожной сети. Предложено два типа устройств, установленных вдоль дороги, на въезде и выезде сегмента дороги для контроля объема трафика и светофоров. При выборе состояния светофора устройства выполняют «опрос» предварительно состояний трафика и динамически устанавливают периоды времени для сигналов светофора в зависимости от условий прибывающего потока. Учитывается также обратная связь от условий убывания потока. Опыт последних лет свидетельствует о том, что конструирование традиционных дорожных инфраструктур и использование исключительно традиционных подходов к управлению не только дорого, но и неэффективно решает вопрос транспортных перегрузок. Анализ показал, что одной из важных причин заторов на дорогах является неэффективное управление транспортным потоком. Состояния светофора должно динамически подстраиваться под условия трафика в режиме реального времени.

Интеллектуальная система управления движением [35-36] использует репликацию двухпроцессорной интеллектуальной системы в FPGA для отслеживания частоты трафика. Существуют различные способы контроля трафика, например, обработка видеозображения [37], подсчет транспортных средств через пересекающиеся массивы датчиков приближения – касания. Новая структура управления трафиком – мобильная интеллектуальная система управления трафиком (MITCS), разработанная для Тайваня, предложена в [38]. Аналогичным образом, интеллектуальная система управления трафиком работает в Пекине под названием SCOOT [39]. Авторы стремятся создать интеллектуальную систему, понимающую транспортное движение и сигнальную систему движения, которая воспринимает трафик, используя набор бесконтактных датчиков и сенсорных датчиков, установленных на дороге, вычисляет плотность, используя код,

встроенный в микроконтроллер, и применяет изменение On-The-Go. Эта система изменяет задержки, применяемые в текущем рабочем цикле светофора для максимального комфорта участников дорожного движения. Визуализация осуществляется с помощью светодиодов высокой интенсивности.

В [40] представлена система управления трафиком, где нагрузка дорожного потока непрерывно измеряется датчиками, подключенными к системе на базе микроконтроллеров. Светофоры связаны между собой сетью, через которую происходит обмен информацией о нагрузке и синхронизации. Продолжительность каждого цикла светофора изменяется динамически. Структура системы состоит из трех модулей. В первом частота трафика определяется датчиками приближения или сенсорными датчиками на основе магнитного захвата. Во втором модуле запрограммированный встроенный процессор определяет задержки сигналов светофора в соответствии с частотой трафика. В третьем модуле выходные данные от разных портов микроконтроллера поступают на разные светофоры. Датчик, сенсор создает ток в пружинной катушке. Интеллектуальная система управления трафиком, показанная на рис. 3, работает следующим образом: 1) Датчики приближения посылают импульс каждый раз, когда автомобиль приближается к нему. 2) Импульс усиливается и преобразуется в цифровой импульс. 3) Выход подается на микроконтроллер. 4) В соответствии с количеством активированных датчиков определяется время остановки и перехода. 5) Изменение времени осуществляется в одном цикле.

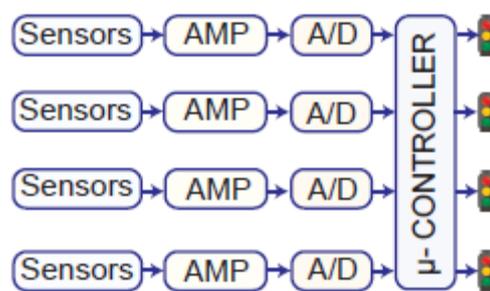


Рис. 3. Интерфейс датчика с микроконтроллером  
В этом недорогом прототипе были использованы малогабаритные датчики приближения и светодиоды для терминалов светофора. Но в реальности порт микроконтроллера не может управлять высокомоощными световыми лампами. Это можно сделать при помощи реле, которое переключается через транзистор. Число устройств обнаружения трафика со светофорами может быть увеличено за счет использования чипа интерфейса 8255 PPI с портом микроконтроллера. Преимуществом данной системы является низкая стоимость – 400 долларов США и высокая точ-

ность, в то время как существующие системы стоят свыше 30 000 долларов.

В [41-43] предложено управление сигналами светофора за счет вычисления параметров нечеткого управления трафиком нейросети. В [44-45] используются интеллектуальные агенты с возможностью Q-learning для управления одним пересечением. Результаты моделирования показали, что эти подходы лучше, чем метод управления с фиксированным временем. Показана самообучающаяся модель управления светофором, которая основана на нечеткой кластеризации и генетическом алгоритме. Используются теория нечеткой логики и машинное обучение. Путем нечеткой кластеризации схемы управления помещают числа прибывающих автомобилей в базу данных в виде набора правил. Они определяют управление сигналом в определенных дорожных ситуациях в соответствии с опытом и принципами управления трафиком. Генетический алгоритм используется для улучшения набора переменных правил и является частью процесса управления сигналами, выполняя роль расчета оптимального управления. В [46] представлена скоординированная система управления дорожным движением на основе мультиагента. Она имеет ту же структуру, что и модель в [47-49], которая представляет собой систему управления стилем пирамиды с тремя уровнями, которые представляют собой глобальное, групповое и индивидуальное планирование сверху вниз.

В [50] реализована распределенная и скоординированная система управления сигналами движения, которая основывается на мультиагентах (DTCMAS) без центра управления. Каждый перекресток контролируется локальным агентом независимо друг от друга, однако связь между ними существует, и она происходит в смежных перекрестках. Таким образом, если масштаб дорожной сети увеличивается, сложность алгоритма управления остается прежней. Внутренняя структура агента показана на рис. 4.

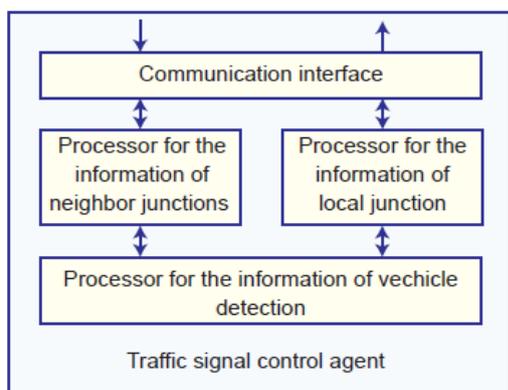


Рис. 4. Структура агента управления сигналами

Каждый агент управления сигналами состоит из частей: интерфейс связи, процессоры соседних соединений, локального соединения и обнаружения автомобиля.

Поскольку каждый агент содержит базу данных и механизм рассуждений, DTCMAS не только полностью учитывает информацию о состоянии движения на перекрестках, но также выполняет глобальную оптимизацию для управления движением дорожной сети и уменьшает сложность алгоритма управления. Результат моделирования показывает, что подход управления сигналами DTCMAS уменьшает общую задержку остановки автомобилей в среднем на 37,8% по сравнению с методами фиксированного времени и снижает общую задержку автомобилей в среднем на 17,8%, по сравнению с другими методами при тех же условиях.

### 3 Системы позиционирования и навигации транспортных средств

В [51] рассматривается проблема роста количества автомобилей в городе, а также несоответствие пропускной способности дорог такому интенсивному росту. Предлагается использовать системы динамической (DVNS) и статической (SVNS) навигации [52] для мониторинга и управления транспортными средствами. Дорожная сеть и архитектура динамического трафика с использованием пространственно-временной модели данных, может быть описана с помощью технологий: 1) сопоставления и слияния пространства мульти-модального дорожного трафика и атрибутов информации; 2) обновления информации о дорожной сети для разных промежутков времени; 4) создания базы данных масштабируемой дорожной сети. Система DVNS состоит из трех уровней: базовых и топологических сетей, а также дорожной информации. Представить функционирование дорожной сети можно основываясь на узлах или на сторонах движения. В предложенном подходе позиционирование [53, 54] транспортных средств осуществляется путем использования GPS-сигнала, а в случаях плотной городской застройки, туннелей применяется фильтр Кальмана [55]. Показаны методологии и модели мониторинга дорожных сетей, принципы управления ими на основе пространственно-временных критериев, а также краткосрочное прогнозирование дорожной ситуации в целях создания высокоэффективной, масштабируемой мульти-модальной навигационной системы. Предложенный подход позволяет решить задачу сбора и обработки дорожной информации, включающей потоки трафика в режиме реального времени, дорожные правила, а также информацию о дорожных происшествиях в целях последующего управления объектами

дорожной инфраструктуры. Использование только одной технологии беспроводной связи для определения местоположения транспортного средства сокращает область использования данной системы до зоны покрытия GPS [56, 57]. Облачные сервисы не рассматриваются. В [58] предложена система динамической навигации, представлена ее архитектура и методика организации и управления данными. Традиционные системы навигации [59] транспорта имеют недостатки: 1) Отсутствие актуальной информации о дорожной ситуации и о трафике в режиме реального времени; 2) Навигация без учета изменений в трафике и информации дорожной ситуации; 3) Отсутствие возможности для соединения с другими сетями обслуживания. Система динамической навигации состоит из трех частей (рис. 5): Traffic information Provider, Service Center и Navigation Terminal.

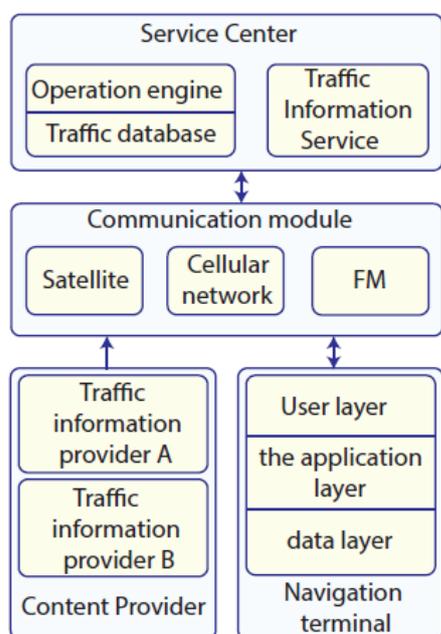


Рис. 5. Системная архитектура

Traffic information Provider – основная служба дорожного движения в Китае, которая получает информацию о дорожном трафике с видеодетекторов, микроволновых детекторов, систем идентификации автомобильных прав и системы мониторинга проезда на красный свет. Так же используются транспортные средства, которые при движении в потоке собирают данные с помощью беспроводных сетей в режиме реального времени в целях последующей обработки массивов данных в сервисном центре. Service Center – распределение и обработка всей навигационной информации, которая состоит из таких компонентов: operation engine (ПО промежуточного слоя, которое предоставляет множество интерфейсов для преобразования информации в унифициро-

ванном виде и хранения ее в базе данных), база данных трафика (используется в дополнение к информации о real-time трафике для предоставления рекомендованного оптимального маршрута и ожидаемого время прибытия с большей степенью точности), служба дорожной информации (предоставляет все виды сервисных модулей: сервис ограничения трафика, сервис пробок и сервис погоды, новостной и сервис развлечений) и коммуникационный модуль (обеспечивает связь между сервисным центром, контент-провайдером и мобильными терминалами). Navigation terminal – осуществляет функции отображения карты, рекомендации маршрута, планирования маршрута и поиск. Терминалы масштабируемы, состоят из коммуникационного модуля, уровня данных, приложения и исполнения. В системе GIS-T (Geographic Information System for Transportation) навигационные данные состоят из статических данных, не меняющихся в течении длительного времени (существующие дороги, сервисные станции и заправочные станции) и динамических (поток движения, дорожные события). Пространственные характеристики показывают изменения распределения загруженных участков дороги в различное время. Временные характеристики показывают, что состояние загруженности на одной и той же дороге изменяется с течением времени. Предложенная система ориентирована на сбор актуальной информации о дорожной ситуации и о трафике в режиме реального времени; на создание навигации с учетом изменений трафика и информации о дорожной ситуации; возможности обеспечения соединения с другими сетями обслуживания. Экспериментальная система, базирующаяся на методике предложенной в данной статье, уже имплементирована в правительственной организации сбора и предоставления информации о трафике в Пекине. Многие развитые страны занимаются разработкой систем позиционирования (VNS) – "VICS" в Японии, "TravTek" в США и "Ali-Scout" в Европе. Недостатки. Из-за проблем урбанизации тяжело реализовывать системы VNS с real-time информацией о трафике. В предлагаемой системе не организовано управление интеграцией real-time информации с дорожными сетями. В [60] предлагается система автомобильной навигации, основанная на гибридном генетическом алгоритме. Вычисление маршрута – задача комбинаторной оптимизации, наряду с задачей "странствующего торговца". Для ее решения используется генетический алгоритм (ГА) [61-62], как мощное средство оптимизации. Логика работы заключается в поиске маршрута с несколькими точками проезда до прибытия в конечный пункт назначения. Задача выбора ма-

ршрута делится на 2 подзадачи: выбор точек проезда (решается с помощью ГА), выбор между этими точками (решается с помощью алгоритма Дейкстры). Предоставляется возможность определить оптимальный способ построения маршрута, выполняя наиболее важную функцию для системы автомобильной навигации. Алгоритмы Дейкстры и Мазе определяют кратчайший маршрут между двумя точками, однако не решают задачу с несколькими точками.

В [63] предлагается модель движения с переменной скоростью, ядром которого является контроллер, основанный на облачной нейронной сети для осуществления рулевого управления. В рамках проекта «Интеллектуальная система транспортировки» было разработано множество подходов моделирования трафика, которые решают задачи, связанные с пробками и дорожно-транспортными происшествиями. Все подходы основаны на системе Equation Based Modeling (EBM). Несмотря на успехи в моделировании сети реального трафика, до сих пор не были эмулированы сложные процессы поведения водителя на дорогах [64]. Моделирование действий водителя – сложная задача, включающая теорию управления, робототехнику и психологию. Симуляция рулевого управления водителем является ключевой технологией в автономных системах движения. При выполнении алгоритма обучения нечеткая область выражается системой линейных уравнений для локальной аппроксимации нелинейной функции. Это отражает накопленный опыт водителя с такими же условиями вождения. Полученный в результате моделирования сценарий смены полосы демонстрирует эффективность алгоритма обучения, основанного на облачной модели и нейронных сетях. Предлагаемая модель позволяет частично осуществлять “driver-free car control”, учитывая движение впереди и сзади едущего транспортного средства.

В [65] описывается проект AutoNomos – управление пробками на однополосной дороге. Динамически меняющаяся система, такая как дорожная пробка, состоит из множества постоянно изменяющихся объектов, например, машин, располагающихся в разных местоположениях и продолжающих двигаться в конце или начале пробки. Для получения полезной информации, соотносящейся с концом затора, нужно учитывать смещения одного автомобиля по отношению к другому, вместе со всеми соответствующими данными. Дальнейшее развитие проекта направлено на интеллектуальную организацию управления трафиком на двухполосном шоссе (с перекрестками и различными выездами), а также на решение проблемы «бутылочного горлышка» (узких мест) в трафике, например,

вызванные конвоем медленных грузовиков, авариями или специализированными транспортными средствами.

В [66] предлагается решение ключевой проблемы городского движения – интеллектуальная модель управления городской магистралью. Показывается влияние контроля скорости на поток трафика; разрабатывается стратегия предварительного контроля для обеспечения максимальной эффективности системы городских магистралей, особенно в условиях загруженности; представлена система облачного прогнозирования [67] пробок на дорогах, которая позволяет реализовать стратегию упреждающего управления транспортным средством. Предлагаемая интегрированная умная динамически управляемая архитектура (рис. 6) состоит из 3 подсистем: 1) измерения данных о трафике на магистрали; 2) управления информацией о трафике; 3) упреждающего контроля скорости для улучшения уровня эффективности и безопасности дорожного движения.

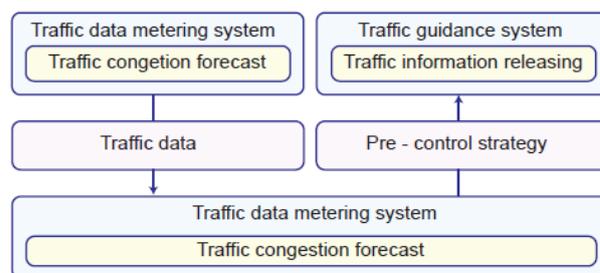


Рис. 6. Архитектура интеллектуальной системы управления

Снижение скорости приводит к уменьшению заторов в «узких местах», что может улучшить общую производительность магистральной системы. «Узкое место» в данном контексте означает не только то место, которое имеет более низкую пропускную способность трафика [68], чем другие части магистрали, но и место, в котором некоторые заторы будут происходить на основе прогноза заторов на дорогах. В предлагаемом решении не указывается применение облачных технологий.

В [69] рассматривается система адаптивного управления дорожным сигналом (TSC), как продолжение развития интеллектуальной транспортной системы (ИТС). Исследуется система наблюдения на основе анализа непредсказуемых и трудно измеряемых нарушений, влияющих на дорожную ситуацию. Используются методологии видео-наблюдений, которые включают сегментацию, классификацию и отслеживание объектов для определения состояния городской магистрали в режиме реального времени. Алгоритм управления адаптивным сигналом дорожного движения согласовывает переключения светофо-

ров в ситуациях «движения по прямой», «поворота направо» и «поворота налево». Эффективная, безопасная и менее загрязняющая транспортировка людей и товаров требует оптимального использования инфраструктуры посредством применения различных мер контроля дорожного движения. Управление транспортными средствами напрямую зависит от эффективности и актуальности применяемых методологий управления [70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79]. Для этого определяются и анализируются объекты, затем измеряется количество автомобилей, после чего информация о транспорте экстраполируется. Существуют три основные методики выявления транспортных средств на магистрали: «временное различие», «оптический поток» и «вычитание фона». Методы временного дифференцирования и оптического потока позволяют обрабатывать изображения и находить движущиеся объекты, но они не подходят для неподвижных или медленно движущихся объектов. Результаты эксперимента по использованию системы управления сигналами [70-78] дорожного движения подтверждают эффективность адаптивного подхода TSC на основе видео-наблюдения. Метод S-TRAC (system-wide traffic-adaptive control) [79] был введен как средство для создания оптимальных таймингов для сигналов в режиме реального времени. S-TRAC имеет несколько особенностей, которые делают его практически выполнимым и теоретически обоснованным в решении проблем управления транспортом. Среди этих особенностей: (1) не требуется никакой модели потока трафика в масштабе всей системы; (2) S-TRAC автоматически адаптируется к долгосрочным изменениям в системе (например, сезонным изменениям), обеспечивая при этом команды реагирования в режиме реального времени; (3) S-TRAC может работать с существующими аппаратными средствами и конфигурациями датчиков в использованной сети.

#### **4 Электронное оборудование современного автомобиля**

Тенденции развития конструкций автомобилей обусловлены экономическими, социальными и экологическими причинами: повышения топливной экономичности и безопасности автомобилей, загрязнения окружающей среды отработавшими. Автомобильные технологии набирают темпы развития, благодаря компьютеризации и внедрению «smart» компонентов в бортовые системы автомобилей. Финансовые и энергетические кризисы также повлекли за собой возросший интерес и научные исследования в области создания электромобилей и гибридных автомобилей, использующих энергию из возобновляемых источников. Увеличение объёмов трафика в больших

мегаполисах приводит к идее использования оцифрованного трафика и систем мониторинга и управления им, а также постоянные дорожные пробки и частые случаи ДТП вынуждают принять концепцию «free human control car» и максимально автоматизировать процесс управления движением транспортных средств [80, 81]. Разработкой и моделированием автомобилей будущего интересуются и ведут исследования такие компании как: Apple, Google, Tesla, Synopsys, мировые автогиганты BMW, VW, Mercedes, Toyota, Ford, Honda. Существует множество научных центров по развитию инфраструктуры автомобилей, в которых сотрудничают университеты и компании, например, центр автомобильных исследований (CAR) в Колледже инженерии штата Огайо. Hitachi automotive systems group предлагает различные решения по вопросам развития современного автомобиля [82]: экологически чистые высокоэффективные системы управления двигателями для сокращения выбросов углекислого газа и предотвращения загрязнения воздуха; поставка интегрированного электромеханического решения прокладывания дороги для электрооборудованием с механическим и электронным управлением; предоставление безопасности с помощью механизмов управления движением, которые координируют способность осмысления и оценивания вождения, управления и торможения; услуги облачной информационной сети, многофункциональные навигационные системы и другое информационное оборудование. Компания предоставляет широкий выбор сенсоров [83]: Airflow Sensor (slot-in, robust and silicon types), Differential Pressure Sensor, Exhaust Pressure Sensor, Pressure Sensor, Hall Effect Type Revolution Sensor. Глобальная сеть заводов, магазинов расположена по всему миру: Европа, Азия, Китай, Америка.

Автомобиль будущего оснащен бортовым компьютером, сенсорами, актюаторами [84], радарам [85], лидарами [86], системой GPS [87], спутниковыми антеннами [88], системой безопасности. Архитектура транспортного средства (рис. 7) позволяет взаимодействовать с облачными технологиями и использовать всевозможные сервисы [89] для улучшения качества передвижения. Встроенные Satellite системы позволяют осуществлять беспроводную связь автомобиля с облачными сервисами, объектами интеллектуальной дорожной инфраструктуры и связи с мобильным устройством водителя, а также другими транспортными средствами в потоке в режиме реального времени. Использование сенсоров и актюаторов позволяет осуществлять сбор данных и мониторинг параметров, а также осуществлять на основании этого управление всеми аналого-

выми и цифровыми системами автомобиля. Встроенный бортовой компьютер отвечает за обработку данных, получаемых от датчиков и различных систем автомобиля, предназначенных для беспроводной связи с облачными сервисами и дорожной инфраструктурой. Взаимодействие машин друг с другом происходит за счет установления контакта путём связи с облаком, либо путём использования каналов и протоколов связи на ближней дистанции [90]. В случае угона машины владелец получает уникальную возможность полноценного удаленного наблюдения за местоположением автомобиля, используя GPS, встроенные бортовые камеры и камеры внешнего обзора автомобиля, а также путём получения на мобильный телефон или другое устройство SMS, e-mail или другого вида оповещений с данными о последнем зафиксированном в системе местоположении его автомобиля. Специальным службам дорожного контроля, полиции будет послан сигнал о несанкционированном доступе к автомобилю, переданы координаты и параметры автомобиля. В качестве ответной реакции может быть полная блокировка ТС вплоть до дистанционной блокировки двигателя, КПП и тормозной системы. С развитием оборудования автомобилей (рис. 8) изменяются и совершенствуются элементы дорожной инфраструктуры: умные светофоры, виртуальные дорожные карты, знаки дорожного движения. Современные светофоры становятся интеллектуальным средством взаимодействия транспортных средств с облачным сервисом, являясь приёмником сигналов, получаемых от автомобилей через облако [91].

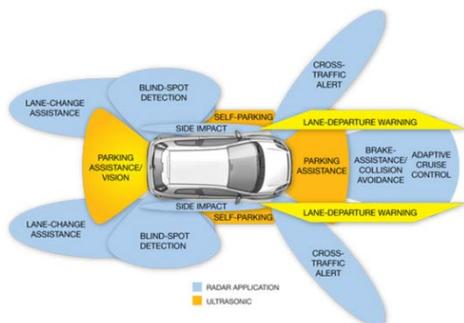


Рис. 7. Использование радар технологий



Рис. 8. Современный автомобиль

Таким образом, компьютерное оснащение современного автомобиля делает его все более высокоинтеллектуальным роботом, умно взаимодействующим с окружающей средой и облаком посредством сенсоров и актюаторов при его точном позиционировании в пространстве за счет каналов позиционирования и навигации.

## 5. Киберфизические системы облачного управления транспортом

Процессы несинхронизированного развития двух компонентов: реального мира и киберпространства в настоящее время приобретают векторный формат, направленный на создание структурированных и взаимно интегрированных компонентов КиберГеоСистемы (КГС). Последняя эволюционирует путями создания в киберпространстве облачных сервисов точного мониторинга и оптимального управления несовершенным реальным миром на основе моделей взаимно однозначного отображения всех земных процессов и явлений. Упрощенно КГС можно представить двумя модулями: «облачного» кибер управления и технического земного исполнения, представленного ресурсами, средствами и людьми. Механизмы управления и исполнения не должны пересекаться по материальным и человеческим ресурсам. Формально КГС представляется в виде двух механизмов: Cyberity и Humanity, которые связаны между собой четырьмя сигналами: Мониторинга, Управления и Инициирования обоих механизмов в целях реализации желаний. Аналитическая форма задания СН-системы и ее структурный эквивалент изображены на рис. 9.

$$S = (C, H, M, U, X, R, Y, P),$$

$$C \square H = \square;$$

$$\{ Y(t) = f[X(t), (R(t), M(t), Y(t-1))];$$

$$\{ P(t) = g[X(t), (R(t), U(t), Y(t))].$$

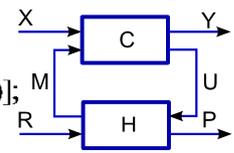


Рис. 9. Аналитическая и структурная формы задания СН-системы

Здесь представлены  $(C, H, M, U, X, R, Y, P)$  соответственно: блоки управления (менеджеры и киберы – cybers) и исполнения (инфраструктура, исполнители и роботы); сигналы мониторинга и управления, входы управляющих идей и исполнительных ресурсов (время – деньги – материалы), выходы индикации состояния алгоритма реализации идеи и выпуска продукции (сервиса). В рамках создания КГС актуальными и рыночно привлекательными являются следующие направления исследований: 1. Технологии дифференцирования мобильных систем на специализированные и структурированное киберпространство облачных сервисов. 3. Квантовые параллельные вычисления и специализированные мультипроцессоры. 4. Сенсорные интеллектуальные уст-

ройства для реального мира и быстродействующие роботы для киберпространства. 5. Трехмерные мультипроцессоры, 3D-вычислительные процессы и многомерное киберпространство. Здесь речь идет о неминуемом переходе вычислительных устройств, процессов и компонентов в 3D-измерение в связи с появлением трехмерного FinFETs транзистора. 6. Это приведет весь компьютерный мир к реализации совершенно новой парадигмы – параллельного программирования вычислительных структур в трех измерениях. 7. Важным представляется создание 3D-мультипроцессора на объемном кристалле, что станет возможным в ближайшие 5 лет. Здесь следует внедрять треугольную, а также тетраэдрную структуры межкомпонентных соседних связей в качестве базовых элементов для формирования вычислительных объемов микро- и мультипроцессоров, а также киберпространства сервисов. 8. Становится актуальной разработка 3D-принтеров для реализации технологий печатания (изготовления) трехмерных оптимальных специализированных архитектур, функционально заточенных под конкретные алгоритмы решения.

Эволюция киберпространства планеты делится на следующие периоды: 1) 1980-е годы – формирование парка персональных компьютеров; 2) 1990-е годы – внедрение Интернет-технологий в производственные процессы и быт человека; 3) 2000-е годы – повышение качества жизни за счет внедрения мобильных устройств и облачных сервисов; 4) 2010-е годы – создание цифровой инфраструктуры мониторинга и активного управления движущимися объектами (воздушный, морской, наземный транспорт и роботы). Поэтому в настоящее время привлекательной проблемой является системная интеграция облачного сервиса мониторинга и управления, блоков радиочастотной идентификации транспорта, а также цифровых средств дорожной инфраструктуры для оптимального on-line управления транспортными средствами и дорожным движением в целях решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем.

Что является основой киберпространства планеты? Кристалл кремния и его аналоги. Современная микроэлектроника дает возможность создавать уже не плоские, а объемные транзисторные структуры (3D – FinFETs) в 14-7, 5, 3.5 и 2.5 нанометровом диапазоне, соизмеримым с размером атома. Это означает появление объемных 3D-System-on-Chip. Преимущества таких объемных кристаллов существенно влияют на характеристики промышленных изделий в части: энергопотребления, размерности, быстродействия, стоимости и качества за счет уменьшения не

только размерности компонентов, но и связей между ними. Таким образом, микромир киберпространства переходит в 3D-измерение. Макромир все еще остается плоским при объединении в систему мультипроцессорных компонентов, компьютеров, сетей, облачных сервисов киберпространства. Какие аргументы можно выдвинуть за переход макромира в 3D-пространство? Компактность информационных объемов, быстродействие перемещения в киберпространстве и его размерность. Треугольная плоская структура системы, где все вершины являются соседними, имеет существенный недостаток в двух измерениях – кодирование трех вершин или ребер занимает три кода, а это означает, что один код двухбитового вектора не используется. Поэтому создать примитивную структуру, где все вершины являются соседними, а их количество равно четырем для полного использования кодового пространства двух битов, значит вновь открыть удивительную по своим свойствам 3D-фигуру – тетраэдр. Он имеет шесть ребер или расстояний, хог-сумма которых равна нулю. При задании фигуры два ребра являются избыточными, что можно использовать для уменьшения информационных объемов до 66% при хранении и передаче данных. Формирование кибернетического пространства на основе использования примитивов-тетраэдров дает возможность оптимизировать отношение структурной сложности пространства к среднему расстоянию между двумя точками.

Развитие и внедрение концепции Internet of Things требует решения сложных инженерных и научных проблем в области компьютерной инженерии (<http://eai.eu/>, <http://iot.ieee.org/>), которыми занимаются мировые научно-исследовательские сообщества (IEEE, EAI) и компании (Intel, NASA, IBM, Apple, Google, Samsung, Dell, AT&T, CISCO, THALES, WorldSensing, Aguila technologies, Connit, SigFox, Guglielmo, DQuid, BitCarrier). Идея Internet of things основана на использовании беспроводных гетерогенных сетей, работающих в различных частотных диапазонах по стандартам – ZigBEE, WiFi, LTE (3G, 4G, 5G), Bluetooth, которые обеспечивают дальность действия, скорость передачи данных и низкое энергопотребление. Функциональность инфраструктуры Internet of things – сбор и анализ данных использует структуры: big data, open data, cloud computing. Первые ориентированы на анализ больших объемов неструктурированных данных. Вторые – это концепция форматирования информации для использования компьютерами без вмешательства человека. Облачные вычисления являются масштабируемой платформой для обработки и хранения big data,

поступающих с умных сенсоров в реальном времени. Неотъемлемой частью IoT является межмашинное взаимодействие M2M – набор технологий и подходов, обеспечивающих обмен информацией между механизмами для создания умных городов (<http://www.android.com/auto/>, <https://www.apple.com/ios/carplay/>, <http://java.dzone.com/articles/car-wars-con-cars>). Здесь фигурируют компании, предоставляющие платформы и готовые аппаратные решения: Connit, Aguila Technologies, WorldSensing. Проект WorldSensing FastPrk – это сервис умной парковки, позволяющий водителю с помощью мобильного устройства находить свободное место, а городским властям эффективнее использовать парковочные пространства. Сенсор парковки работает в частотном диапазоне Sub-GHz с радиусом 500 м. Уже сегодня автомобиль немислим без сервисов Интернет, ориентированных на совмещение приятной поездки, комфортного отдыха и реализации бизнес-операций внутри машины, которая исполняет роль любимого и единого места с полным набором функциональных сервисов делового человека (голосовые: связь, сообщения и почта, банкинг и навигация, а также музыка, игры, видео) [95-111]. Все это стало возможным благодаря подключению автомобиля к сети Интернет путем синхронизации мобильного телефона с монитором (компьютером) транспортного средства, что дает возможность аутентифицировать водителя в реальном мире и виртуальном киберпространстве. Здесь лидируют компании Apple и Google. Они анонсировали платформы связи, навигации и развлечений, встроенные в автомобиль (Apple iOS CarPlay, Google Android Auto), которые используют микропроцессорную операционную систему BlackBerry QNX. Для инсталляции системы необходимо подключить смартфон Android или iOS кабелем USB к компьютеру автомобиля. Появление на рынке автомобильных ОС позволяет сделать вывод, что через 3-4 года все машины будут подключены к глобальным сервисам сети Интернет, направленным на повышение качества жизни человека в процессе дорожного движения. Такая договоренность есть между 31 ведущими автомобильными компаниями мира. Практически все, что было задекларировано в проекте iCTC [92-94], три года тому назад, постепенно реализуется в сервисах Apple CarPlay, кроме одного – виртуального уличного светофора на лобовом стекле-мониторе автомобиля [112-114]. Светофоров нет на море и в воздухе, не будет их и на земле через 5-10 лет.

Рыночная и научно-техническая привлекательность проекта Smart Cloud Traffic Control подтверждается также обновленной структурой все-

мирного общества инженеров IEEE, которое включает 38 сообществ, 9 комитетов и 7 советов, в том числе, интересные для проекта: IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, IEEE Intelligent Transportation Systems Society, IEEE Professional Communication Society, IEEE Systems, Man, and Cybernetics Society, IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Cloud Computing Community, IEEE Electric Vehicles Community, IEEE Biometrics Council, IEEE Sensors Council.

## 6. Выводы

Создание киберфизической инфраструктуры комфортного безопасного дорожного движения за счет постепенного переноса дорожных знаков, светофоров в киберпространство и точного позиционирования транспорта в целях облачного online управления автомобилем на основе умной суперпозиции заказанного маршрута с оперативным цифровым мониторингом дорожной обстановки, отображаемой на сенсорном дисплее автомобиля, является актуальной научно-технической проблемой.

Для достижения *цели* – повышение качества и безопасности дорожного движения за счет создания киберфизической модели компьютерного online взаимодействия водителя с облачными сервисами управления автомобилем на основе цифрового мониторинга дорожной инфраструктуры и транспортных потоков, при использовании умных сенсоров, средств телекоммуникации и навигации – необходимо решить следующие *задачи*:

- 1) Разработка модели транспортного компьютерного киберфизического взаимодействия автомобиля с облачным сервисом посредством эволюционного перемещения светофора из физического в виртуальное пространство для цифрового мониторинга транспортных потоков и квазиоптимального управления дорожным движением.
- 2) Создание метрики и критериев оценивания качества инфраструктуры для online анализа киберфизического пространства, поиска квазиоптимального маршрута и уменьшения времени его исполнения.
- 3) Разработка метода анализа киберфизической инфраструктуры дорожного движения на основе алгоритма Дейкстры для online поиска квазиоптимального маршрута в условиях возникновения коллизий.
- 4) Создание архитектуры умного облачного светофора на основе использования логических операций, дающей возможность существенно увеличить пропускную способность перекрестка дорог.
- 5) Практическая реализация моделей и методов цифрового мониторинга и облачного управления

автомобилем в рамках создания киберфизической системы дорожного движения и последующее их тестирование.

Внедрение облачного сервиса управления транспортом приведет к сохранению экологии планеты и к уменьшению: 1) времени прохождения маршрутов, 2) потребления энергетических ресурсов и материальных затрат на создание светофоров, дорожных знаков, автомобильных номеров, 3) расходов на дорожную полицию и эксплуатацию инфраструктуры, 4) числа аварий и краж автомобилей.

Объект исследования – процессы цифрового мониторинга и кибер управления умным автомобилем в масштабируемой дорожной киберфизической инфраструктуре, на которой позиционируются маршруты движения всех транспортных средств при исполнении заказанных маршрутов.

Предмет исследования – киберфизическая система компьютерного взаимодействия облачных сервисов управления транспортом и инфраструктурой с умными средствами цифрового мониторинга дорожной обстановки в целях online оптимального управления автомобилем для исполнения заказанного маршрута.

Функция цели, фоормирующая качество инфраструктуры, определяется интегральным критерием эффективности облачной системы мониторинга и управления дорожным движением, состоящим из трех противоречивых параметров: уровень ошибочных решений  $L$ , приводящих к коллизиям;  $Y$  – параметр качества обслуживания, уменьшающий до нуля время вынужденных простоев транспортных средств  $T$ . Критерий также учитывает уровень дополнительных затрат или структурную сложность  $H^a$  на создание и эксплуатацию киберфизической инфраструктуры  $H$  в сравнении с базовой  $H^s$ , реализующих механизмы наблюдения и управления транспортными потоками:

$$E = F(L, T, H) = \min\left[\frac{1}{3}(L + T + H)\right],$$

$$Y = (1 - P)^n;$$

$$L = 1 - Y^{(1-k)} = 1 - (1 - P)^{n(1-k)};$$

$$T = \frac{(1-k) \times H^s}{H^s + H^a}; H = \frac{H^a}{H^s + H^a}.$$

Здесь  $k$  и  $P$  есть проходимость инфраструктуры и вероятность возникновения коллизий соответственно,  $n$  – число скрытых ошибок инфраструктуры. Время пропуска заданного транспортного потока через фрагмент инфраструктуры определяется ее проходимостью  $k$ , умноженной на структурную сложность дорожной функциональности  $H^s$ , отнесенной к общей сложности инфраструктуры  $H^s + H^a$ . Уровень технической избыточности  $H$  находится в функциональной

зависимости от сложности механизмов проходимости, отнесенной к общей сложности заданной инфраструктуры (дорожная функциональность + инфраструктурные механизмы проходимости). При этом компонент структурной избыточности проходимости, а именно, наблюдаемость инфраструктуры обеспечивает заданную глубину диагностирования пробок или транспортных коллизий на дорожной структуре. В то время как управляемость инфраструктуры призвана устранять коллизии интеллектом облачных сервисов и светофоров в пределах заданного временного интервала.

Локальная функция цели облачного сервиса для водителя транспортного средства определяется максимальным значением функционала ( $Q=1$ ), который составлен из трех противоречивых и безразмерных параметров метрики, приведенной к интервалу  $(0,1)$ : время  $T(X)$  – деньги  $M(X)$  – качество  $Y(X)$ :

$$Q = \frac{1}{3}[T(X) + M(X) + Y(X)],$$

$$T(X) = \frac{1}{2} \left[ \frac{V^r}{V} + \frac{T^m(X)}{T^r(X)} \right];$$

$$M(X) = \frac{M}{M + M^\#(X) + M^P + M^r};$$

$$Y(X) = [1 - P(X)]^n.$$

Здесь каждый параметр существенно зависит от зеленого сигнала светофора ( $X$ ) на маршруте, который доставляет единичное значение функционалу при отсутствии других коллизий. Другие параметры обозначают:

$[V, V^r, T^r(X), T^m(X), M, M^\#(X), M^P, M^r, P(X), n]$  – модельную и реальную скорость автомобиля на маршруте; реальное и модельное время ожидания на перекрестке; минимальные денежные затраты на прохождение маршрута без коллизий; затраты, связанные с простоем на перекрестке; штрафы за нарушения правил дорожного движения; неподвижные ремонты; количество перекрестков ( $X$ ) на маршруте движения транспортного средства.

Таким образом, при отсутствии светофоров и транспортных коллизий качество (жизни водителя) исполнения маршрута автомобилем становится равным единице. При их наличии используется предложенная метрика в целях уменьшения времени простоя транспортного средства на перекрестке.

#### Литература:

1. *The e-IRGSP4 project for e-IRG, Best Practices for the use of e-Infrastructures by large-scale research infrastructures*, February 24, 2015, <http://e-irg.eu/>
2. *The e-IRGSP4 project for e-IRG, Best Practices for the use of e-Infrastructures by large-scale research infrastructures*, February 24, 2015, <http://e-irg.eu/>

3. *Geoffrey C. Fox*, Web 2.0, grids and cyberinfrastructure / e-infrastructure, Collaborative Technologies and Systems, 2007. CTS 2007. International Symposium on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4621721/>
4. *Sy Holsinger, Sergio Andreozzi*, EGI: Implementing service management in a largescale e-Infrastructure, Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6838371/>
5. *David C. H. Wallom, Matteo Turilli, Michel Drescher*, Federating Infrastructure as a Service Cloud Computing Systems to Create a Uniform E-infrastructure for Research, e-Science (e-Science), 2015 IEEE 11th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7304286/>
6. *E-infrastructure: The ecosystem for innovation*, [www.bis.gov.uk](http://www.bis.gov.uk)
7. *Richard O. Sinnott, Gerson Galang, Martin Tomko, Robert Stimson* Towards an e-Infrastructure for Urban Research across Australia, E-Science (e-Science), 2011 IEEE 7th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6123291/>
8. *Geoffrey C. Fox*, Web 2.0, grids and cyberinfrastructure / e-infrastructure, Collaborative Technologies and Systems, 2007. CTS 2007. International Symposium on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4621721/>
9. *Luong Thi Thu Phuong, Nguyen Trung Hieu, Jin Wang, Sungyoung Lee, Young-Koo Lee*. Energy Efficiency based on Quality of Data for Cyber Physical Systems, 2011 IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing, P.232-241.
10. *Jane Hunter, Charles Brooking, Wilfred Brimblecombe, Ross G. Dwyer, Hamish A. Campbell, Matthew E. Watts, Craig E. Franklin*, OzTrack -- E-Infrastructure to Support the Management, Analysis and Sharing of Animal Tracking Data, eScience (eScience), 2013 IEEE 9th International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6683901/>
11. *Sy Holsinger, Sergio Andreozzi*, EGI: Implementing service management in a largescale e-Infrastructure, Network Operations and Management Symposium (NOMS), 2014 IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6838371/>
12. *Sheikh Mahbub Habib, Sebastian Ries, Max Muhlhauser*, Towards a Trust Management System for Cloud Computing, Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2011 IEEE 10th International Conference on
13. *Mohemed Almorsy, John Grundy, Amani S. Ibrahim*, Collaboration-Based Cloud Computing Security Management Framework, Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6008731/>
14. *Mahmoud Al-Ayyoub, Yaser Jararweh, LoAi Tawalbeh, Elhadj Benkhelifa, Anas Basalamah*, Power Optimization of Large Scale Mobile Cloud Computing Systems, Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2015 3rd International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7300885/>
15. *ZhenJiang Li and Cheng Chen*, Cloud Computing for Agent-Based Urban Transportation Systems, Intelligence transportation systems, published by IEEE Computer Society, January/February 2011, P.73-79.
16. *David C. H. Wallom, Matteo Turilli, Michel Drescher*, Federating Infrastructure as a Service Cloud Computing Systems to Create a Uniform E-infrastructure for Research, e-Science (e-Science), 2015 IEEE 11th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7304286/>
17. *Sheikh Mahbub Habib, Sebastian Ries, Max Muhlhauser*, Towards a Trust Management System for Cloud Computing, Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2011 IEEE 10th International Conference.
18. *Mohemed Almorsy, John Grundy, Amani S. Ibrahim*, Collaboration-Based Cloud Computing Security Management Framework, Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6008731/>
19. *E-infrastructure: The ecosystem for innovation*, October 2013 [www.bis.gov.uk](http://www.bis.gov.uk).
20. *Richard O. Sinnott, Gerson Galang, Martin Tomko, Robert Stimson* Towards an e-Infrastructure for Urban Research across Australia, E-Science (e-Science), 2011 IEEE 7th International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6123291/>
21. *Mahmoud Al-Ayyoub, Yaser Jararweh, LoAi Tawalbeh, Elhadj Benkhelifa, Anas Basalamah*, Power Optimization of Large Scale Mobile Cloud Computing Systems, Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), 2015 3rd International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7300885/>
22. *ZhenJiang Li and Cheng Chen*, Cloud Computing for Agent-Based Urban Transportation Systems, Intelligence transportation systems, published by IEEE Computer Society, January/February 2011, P.73-79.
23. *Luong Thi Thu Phuong, Nguyen Trung Hieu, Jin Wang, Sungyoung Lee, Young-Koo Lee*, Energy Efficiency based on Quality of Data for Cyber Physical Systems, 2011 IEEE International Conferences on Internet of Things, and Cyber, Physical and Social Computing, P.232-241.
24. *Arini Widhiyasi, Vasuky Mohanan, Muhammad Fermi Pasha, Rahmat Budiarto*, Vertical Handover Scheme for Car-to-Car Communication, based on IEEE 802.21 Standard, 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications, P. 143-147.
25. *Deyi Li, Xiaodong Wang, Wen He, Mu Guo, Tianlei Zhang*, Study on Interaction Behaviours of Micro-Autonomous Vehicles, 2011 Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, P. 399-406.
26. *Zheng Li, Nenghai Yu, Zhuo Hao*, A Novel Parallel Traffic Control Mechanism for Cloud Computing, 2nd IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, 30 Nov.-3 Dec. 2010, P.376-382.
27. *Visit Hirankitti, Jaturapith Krohkaew*, An agent approach for intelligent traffic-light control, Proceedings of the First Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS'07), 27-30 March 2007.
28. *Tian Hai, Zhang Yong, Cui Gui-mei*, Design and realization of intelligent traffic light monitor and control system based on wireless control, Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese, 25-27 July 2012, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6390937/>

29. *Smith R. H. and Chin D. C.* Evaluation of an adaptive traffic control technique with underlying system changes // in Winter Simulation Conference, 1995, pp. 1124–1130.
30. *Chen W., Chen L., long Chen Z., and liang Tu S.* A realtime dynamic traffic control system based on wireless sensor network // in ICPP Workshops, 2005, pp. 258–264.
31. *Hirankitti V., Krohkaew J., and Hogger C. J.,* A multi-agent approach for intelligent traffic-light control // in World Congress on Engineering, 2007, pp. 116–121.
32. *Mohandas B., Liscano R., and Yang O.* Vehicle traffic congestion management in vehicular ad-hoc networks,” in LCN, 2009, pp. 655–660.
33. *Hong Y. and Yang O. W. W.* Design of adaptive pi rate controller for best-effort traffic in the internet based on phase margin.” IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., vol. 18, no. 4, pp. 550–561, 2007.
34. *Cheng Hu, Yun Wang,* A Novel Intelligent Traffic Light Control Scheme, 2010 Ninth International Conference on Grid and Cloud Computing, P. 372- 376.
35. *Jubair Mohammed Bilal, Don Jacob,* Intelligent Traffic Control System,” (ICSPC 2007), PP 496-499.
36. *Haimeng Zhao, Xifeng Zheng, Weiya Liu,”* Intelligent Traffic Control System Based on DSP and Nios II”, 2009 International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, PP 90-94.
37. *Wu Hejun, Miao Changyun,* Design of intelligent traffic light control system based on traffic flow” .2010 International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering. P. 368-371.
38. *Liang-Tay Lin, Hung-Jen Huang, Jim-Min Lin, Fong-ray Frank Young,”*A New Intelligent Traffic Control System For Taiwan”, ITST 2009, PP 138-142.
39. *Chen Zhaomeng,* “Intelligent Traffic Control Central System of Beijing-SCOOT”, MACE 2010, P. 5067 – 5069.
40. *Vivek Kumar Sehgal, Samruddh Dhope, Prince Goel,* An Embedded Platform for Intelligent Traffic Control, UKSim Fourth European Modelling Symposium on Computer Modelling and Simulation, 17-19 Nov. 2010, P. 541- 545.
41. *Laichour H., etc.* “Traffic control assistance in connection nodes: multi-agent applications in urban transport systems.” International Workshop on Intelligent Data Application and Advanced Computing System: Technology and Application. 1-4 July 2001, Foros, Ukraine. P. 133-137.
42. *Li Jianwu, Huangpu Zhengxian.* “Design of fuzzy control system for city single highway intersection”, Electrical Drive Automation, Vol. 22, No. 2, April, 2000, pp. 22-24.
43. *Bingham E.* “Reinforcement learning in neuro-fuzzy traffic signal control.” European Journal of Operational Research, 131(2001), pp. 232-241.
44. *Abdulhai B., Pringle R.* “Machine learning based adaptive signal control using autonomous Q-learning agent”. Proceeding of the IASTED International Conference. Intelligent Systems and Control. Honolulu, Hawaii, USA. August 14-16, 2000, pp. 320-327.
45. *Xiangjun Cheng, Zhaoxia Yang,* Intelligent Traffic Signal Control Approach Based on Fuzzy-Genetic Algorithm, Fifth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 18-20 Oct. 2008, P. 222-225.
46. *Mingshu Li, John Hallam, Louise Pryor, Stanley Chan, Ken Chong.* A 1996 IEEE International Symposium on Intelligent Control, pp. 162-167. Dearborn, MI. September 15 Cooperative Intelligent System for Urban Traffic Problems [A]. Proceedings of the -18, 1996.
47. *Hakim Laichour, etc.* Traffic control assistance in connection: multi-agent applications in urban transport systems. [A] International Workshop on Intelligent Data Application and Advanced Computing System: Technology and Application. 1-4 July, Foros, Ukraine: pp: 133-137, 2001.
48. *Jeffrey L. Adler, Victor J. Blue.* A Cooperative Multi-Agent Transportation Management and Route Guidance System. Transportation Research Part C, No.10, pp: 433-454, 2002.
49. *John France and Ali A. Ghorbani.* A Multiagent System for Optimizing Urban Traffic. Proceedings of the IEEE / WIC International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT'03), 2003 IEEE.
50. *Cheng Xiangjun, Yang Zhaoxia,* Distributed Traffic Signal Control Approach Based on Multi-Agent, 2009 Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, P.582-587.
51. *Baogui Cao, Zhaosheng Yang, Haiyan Zhu,* Fusion and Integration Framework Study on Road Network and Dynamic Traffic Data in Vehicle Navigation, 2009 Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application Workshops, P.70-73.
52. *Mohamed M. Atia, Shifei Liu, Heba Nematallah.* Integrated Indoor Navigation System for Ground Vehicles With Automatic 3-D Alignment and Position Initialization, IEEE Transactions on Vehicular Technology ( Volume: 64, Issue: 4, April 2015 ), P. 1279 – 1292, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7027835/>
53. *Ming Li, Zh. H. Liu, J.A. Huang,* Artificial Landmark Positioning System Using Omnidirectional Vision for Agricultural Vehicle Navigation, Intelligent System Design and Engineering Application (ISDEA), 2012 Second International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/6173294/>
54. *Liu Dawei,* Application of Assisted TDOA Technology in Vehicle Positioning and Navigation System, TENCON 2005, 2005 IEEE Region 10, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4085074/>
55. *Ying Ji, Man Zhang, Gang Liu,* Positions research of agriculture vehicle navigation system based on Radial Basis Function neural network and Particle Swarm Optimization, Natural Computation (ICNC), 2010 Sixth International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/5583145/>
56. *Mingke Fang, Lei Li, Wei Huang,* Research of Hybrid Positioning Based Vehicle Interactive Navigation System, Multimedia Information Networking and Security (MINES), 2010 International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5671177/>
57. *Kwak S.H., McKeon J.B., Clynch J.R.,* Incorporation of global positioning system into autonomous underwater vehicle navigation, Autonomous Underwater Vehicle Technology, 1992. AUV'92., Proceedings of the 1992 Symposium, <http://ieeexplore.ieee.org/document/225224/>
58. *Song Ying, Yu Yang,* Study on Vehicle Navigation System (VNS) with Real-time Traffic Information, 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering, P.1079-1082.
59. *Kim S.-B., Bazin J.-C., Lee H.-K.,* Ground vehicle navigation in harsh urban conditions by integrating inertial navigation system, global positioning system, odome-

- ter and vision data, IET Radar, Sonar & Navigation ( Volume: 5, Issue: 8, Oct. 2011 ), P. 814 – 823, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6036233/>.
- 60.** Masaya Yoshikawa, Hidekazu Terai, IEEE. Car Navigation System based on Hybrid Genetic Algorithm, 2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering, P. 62-64.
- 61.** Holland J., Adaptation in Natural Artificial Systems, the University of Michigan Press (Second edition ; MIT Press), 1992] [Goldberg,D.E, Genetic algorithms in search optimization, and machine learning, Addison Wesley, 1989.
- 62.** Fei-Yue Wang. Agent-Based Control for Networked Traffic Management Systems, 2005 IEEE Intelligent Transportation Systems, P.92-96.
- 63.** Yu Shaowei, Li Xiuhai, Liu Qingling, Zhang Tongzhu. A Car-Steering Model Based on an Adaptive Cloud Neural Controller, 2010 International Conference on Digital Manufacturing & Automation, P. 7-10.
- 64.** Kiattisin Kanjanawanishkul, Andreas Zell, Path following for an omnidirectional mobile robot based on model predictive control, Robotics and Automation, 2009. ICRA'09. IEEE International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/5152217/>.
- 65.** S'andor P. Fekete, Christiane Schmidt, Axel Wegener, Stefan Fischer, Recognizing Traffic Jams with Hovering Data Clouds, Second International Symposium on Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation, 15-19 Nov. 2006 , P. 199 -203.
- 66.** Yin Zhu1, Junli Wang1,Huapu Lu, Study on the Intelligent Pre-control Model of Urban Arterial, 2008 IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, P.114-118.
- 67.** You-Ren Chen, Keng-Pin Chen, Pao-Ann Hsiungy, Dynamic traffic light optimization and Control System using model-predictive control method, Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2016 IEEE 19th International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7795937/>
- 68.** Yang Zhao-sheng, Zhou Xi-Yang, Tian Chun-Lin, Research on traffic signal cycle optimization method based on bi-level programming model, Computer Science and Network Technology (ICCSNT), 2013 3rd International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6967178/>.
- 69.** Lawrence Y. Deng, Nick C. Tang, Dong-liang Lee, Chin Thin Wang, Ming Chih Lu. Vision Based Adaptive Traffic Signal Control System development, Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA 2005).
- 69.** Xiao-Hua Yu, A.R. Stubberud, Markovian decision control for traffic signal systems, Decision and Control, 1997 // Proceedings of the 36th IEEE Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/649773/>.
- 70.** Ludovica Adacher, Marco Tiriolo, Distributed urban traffic signal optimization based on macroscopic model, Innovative Computing Technology (INTECH), 2016 Sixth International Conference <http://ieeexplore.ieee.org/document/7845123/>.
- 71.** Glenn T. Donovan, Position Error Correction for an Autonomous Underwater Vehicle Inertial Navigation System (INS) Using a Particle Filter, IEEE Journal of Oceanic Engineering ( Volume: 37, Issue: 3, July 2012 ), P. 431 –445, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6200890/>
- 72.** Lee H., Optimal estimation of vehicle position in an acoustic transponder navigation system, Engineering in the Ocean Environment, Ocean 73 - IEEE International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/1161299/>
- 73.** Pedro Batista, Carlos Silvestre, Paulo Oliveira, Position and Velocity Navigation Systems for Unmanned Vehicles, IEEE Transactions on Control Systems Technology ( Volume: 17, Issue: 3, May 2009 ),P. 707 – 715, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4798174/>
- 74.** Du J., Masters J., Barth M., Lane-level positioning for in-vehicle navigation and automated vehicle location (AVL) systems, Intelligent Transportation Systems, 2004. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/1398868/>
- 75.** Braden K., Browning C., Gelderloos H., Integrated inertial navigation system/Global Positioning System (INS/GPS) for manned return vehicle autoland application, Position Location and Navigation Symposium, 1990. Record. The 1990's - A Decade of Excellence in the Navigation Sciences. IEEE PLANS '90., IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/document/66160/>
- 76.** Satoh K., Hozumi H., Okada S. Autonomous mobile patrol system for nuclear power plants: field test report of vehicle navigation and sensor positioning, Intelligent Robots and Systems '96, IROS 96, Proceedings of the 1996 IEEE/RSJ International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/571045/>
- 77.** Hoang Van Dung, Trinh Minh Chi, Nguyen Thi Nga, A vehicle positioning and navigation system design using Mini2440 ARM and Linux, Information and Communication Technologies (WICT), 2013 Third World Congress on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7113112/>
- 78.** Azura Che Soh, Mohammad Hamiruce Marhaban, Marzuki Khalid, Modelling and Optimisation of a Traffic Intersection Based on Queue Theory and Markov Decision Control Methods, Modelling & Simulation, 2007. AMS 2007. First Asia International Conference on, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4148707/>.
- 79.** Chin D.C., Spall J.C., Smith R.H. Evaluation of system-wide traffic signal control using stochastic optimization and neural networks, American Control Conference, 1999. Proceedings of the 1999, <http://ieeexplore.ieee.org/document/786341/>.
- 80.** Kale M.M., Chipperfield A.J. Reconfigurable flight control strategies using model predictive control, Intelligent Control, 2002. Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium <http://ieeexplore.ieee.org/document/1157736/>
- 81.** Trodden P., Richards A. Robust distributed model predictive control using tubes, American Control Conference, 2006, <http://ieeexplore.ieee.org/document/1656519/>
- 82.** Hitachi Inspire the Next, Hitachi automotive systems, Ltd., Guide to Hitachi Automotive Systems, 2016.04 Printed in Japan(H), P. 5-12.
- 83.** Hitachi Inspire the Next, Hitachi automotive systems Product Guide, 2016.04 Printed in Japan(H).
- 84.** Sandor Marcon, Yasuhiro Komatsu, Akitomo Yamana, Linear motor coils as brake actuators for Multi-car elevator, Electrical Machines and Systems, 8-11 Oct. 2007. ICEMS. International Conference, <http://ieeexplore.ieee.org/document/4412276/>.

85. Jakob Lombacher, Markus Hahn, Jürgen Dickmann, Detection of arbitrarily rotated parked cars based on radar sensors, Radar Symposium (IRS), 24-26 June 2015 16th International, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7226281/>.
86. Chan Wei Hsu, Tsung Hua Hsu, Kuang Jen Chang, Implementation of car-following system using LiDAR detection, ITS Telecommunications (ITST), 5-8 Nov. 2012 12th International Conference, <http://ieeexplore.ieee.org/document/6425157/>.
87. Iuliia Goncharova; Stefan Lindenmeier. An interoperable antenna for GPS and GLONASS services on a car, 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7304393/>.
88. Gerd Saala, Jochen Hopf, Stefan Lindenmeier, Small satellite car antenna for simultaneous reception of LHCP and RHCP signals, Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009 // 3rd European Conference [http://ieeexplore.ieee.org/document/5068167/authors\\_](http://ieeexplore.ieee.org/document/5068167/authors_)
89. Tobias Haberle, Lambros Charissis, The Connected Car in the Cloud: A Platform for Prototyping Telematics Services, IEEE Software ( Volume: 32, Issue: 6, Nov.-Dec. 2015), P.11-17, <http://ieeexplore.ieee.org/document/7310999/>
90. Arini Widhiyasi, Vasuky Mohanan, Muhammad Fermi Pasha, Rahmat Budiarto. Vertical Handover Scheme for Car-to-Car Communication, based on IEEE 802.21 Standard, 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications, P. 143-147.
91. Deyi Li, Xiaodong Wang, Wen He, Mu Guo, Tianlei Zhang. Study on Interaction Behaviours of Micro-Autonomous Vehicles, 2011 Tenth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, P. 399-406.
92. Hahanov V.I., Melikyan V.Sh, Saatchyan A.G., Shahov D.V. «Zelenaya volna» – oblako monitoringa i upravleniya dorozhnyim dvizheniem. Armeniya. Vestnik «In-formatsionnyie tehnologii, elektronika, radiotekhnika». Vyip. 16(#1). 2013. S.53-60.
93. Hahanov V.I., Guz O.A., Ziarmand A.N., Ngene Christopher Umerah, Arefjev A. Cloud Traffic Control System. Proc. of IEEE East-West Design and Test Symposium. Rostov-on-Don. 27-30 September 2013. P.72-76.
94. Hahanov V., Gharibi W., Baghdadi Ammar Awni Abbas, Chumachenko S., Guz O., Litvinova E. Cloud traffic monitoring and control. Proceedings of the 2013 IEEE 7th International conference on intelligent data acquisition and advanced computing systems (IDAACS). Berlin. September 12-14. 2013. P. 244-248.
95. Frank van Diggelen and Kathy Tan (2014) Interchangeability Accomplished. Tri-Band Multi-Constellation GNSS in Smartphones and Tablets – GPS World, June 2014, p.p. 46-52.
96. Babakov V.N. Vyisokotochnaya navigatsiya. <http://www.gisa.ru/102286.html>
97. Roffe A. Vozmozhnosti vyisokotochnoy navigatsii - <http://www.gisa.ru/102624.html>
98. <http://www.gisa.ru/103133.html>
99. <http://top.rbc.ru/economics/28/05/2014/926718.shtml>
100. Leandro, R., H. Landau, M. Nitschke, M. Glocker, S. Seeger, X. Chen, A. Deking, M. Ben Tahar, F. Zhang, R. Stolz, N. Talbot, G. Lu, K. Ferguson, M. Brandl, V. Gomez Pantoja, A. Kipka, Trimble TerraSat GmbH, Germany (2011) RTX Positioning: the Next Generation of cm-accurate Real-time GNSS Positioning, ION-GNSS-2011, 2011, Portland, OR, USA.
101. Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H. Pagels, C., Wagner, B. Multi-Base RTK using Virtual Reference Stations, Proceedings of ION GPS 2000, Salt Lake City. P. 19-22.
102. [http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-GNSS-Spider\\_83498.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-GNSS-Spider_83498.htm)
103. <http://www.systemnet.com.ua/ru/network/preimushchestva>
104. <http://gpsinformation.net/exe/waas.html>
105. [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/The\\_present\\_-\\_EGNOS/What\\_is\\_EGNOS](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_present_-_EGNOS/What_is_EGNOS)
106. <http://www.gisa.ru/103059.html>
107. <http://www.novatel.com/about-us/news-releases/news>
108. <http://www.novatel.com/products/span-gnss-inertial-systems/mems-interface-card/>
109. <http://www.novatel.com/products/span-gnss-inertial-systems/span-combined-systems/span>
110. <http://www.kharkovgnssgroup.net/>
111. Ariane Hellinger, Ariane Hellinger, Heinrich Seeger. Cyber-Physical Systems. Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. Acatech. National Academy of Science and Engineering. 2011. 48p.
112. Alessandro Bazzi, Alberto Zanella, Barbara M. Masini, Gianni Pasolini. A Distributed Algorithm for Virtual Traffic Lights with IEEE 802.11p. Networks and Communications (EuCNC), IEEE European Conference. 2014. P. 1 – 5.
113. Ferreira, M., d'Orey, P.M. On the Impact of Virtual Traffic Lights on Carbon Emissions Mitigation. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on. Volume: 13, Issue: 1. 2012. P. 284 – 295.
114. Conceicao H., Ferreira M., Steenkiste P. Virtual traffic lights in partial deployment scenarios. Intelligent Vehicles Symposium (IV), IEEE. 2013. P. 988 – 993.

Поступила в редколлегию 19.09.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Меликян В.

**Зиарманд Артур Нисарович**, ст. преподаватель кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14.

**Хаханов Владимир Иванович**, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, проф. кафедры АПВТ ХНУРЭ, IEEE Senior Member, IEEE Computer Society Golden Core Member. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Науки, 14, тел. +3805770-21-326. Email: [hahanov@icloud.com](mailto:hahanov@icloud.com).

**Ziarmand Arthur Nisarovich**, lecturer of DAD KNURE. Scientific interests: technical diagnostics of digital systems. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauki Avenue, 14.

**Hahanov Vladimir Ivanovich**, Dean of Computer Engineering Faculty KNURE, Dr. of Sciences, Prof., IEEE Senior Member, IEEE Computer Society, Golden Core Member. Scientific interests: technical diagnostics of digital systems, networks and software products. Hobbies: basketball, football, mountain skiing. Address: Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauki Avenue, 14, tel. + 3805770-21-326. Email: [hahanov@icloud.com](mailto:hahanov@icloud.com).