

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАРУШЕНИЙ ПРАВИЛ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ RFID-ТЕХНОЛОГИЙ И НОВЕЙШИХ БЕСПРОВОДНЫХ СРЕДСТВ

В. М. Вишневский, Р. Н. Минниханов*

Научно-производственная фирма “Информационные и сетевые технологии”,
129626, Москва, Россия

*Управление Государственной инспекции безопасности дорожного движения
Министерства внутренних дел по Республике Татарстан, 420059, Казань, Россия

УДК 004.057.4

Предложен подход к построению автоматизированных систем безопасности на автодорогах, обеспечивающих существенное повышение вероятности обнаружения нарушителей правил дорожного движения (ПДД). Повышение вероятности обнаружения нарушений ПДД достигается за счет использования RFID-технологий и новейших беспроводных средств. Описывается архитектура нового модуля фиксации нарушений ПДД, включающего RFID-считыватель, радар и видеокамеру, а также технические и правовые аспекты возможности расположения RFID-метки на номерном знаке автомобиля. Предлагается методология построения высокоскоростной широкополосной беспроводной сети передачи мультимедийной информации, обеспечивающей связь в реальном масштабе времени стационарных и мобильных устройств фиксации нарушений ПДД с центром управления. Для оценки эффективности работы сети передачи данных автоматизированной системы безопасности предложена модель многофазной стохастической системы обслуживания. Рассмотрены практические аспекты разработки и внедрения новой автоматизированной системы контроля нарушений ПДД с использованием RFID-технологии и новейших беспроводных средств.

Ключевые слова: RFID-технология, широкополосная беспроводная связь, многофазная стохастическая система, математическая модель.

The article describes a novel approach for automated roads security systems design, significantly increasing the chances to reveal traffic rules violators. The probability of violation registration is increased through RFID and novel wireless technologies utilization. The paper covers architecture of traffic rules violations registration module enclosing RFID-reader, radar and video camera, along with technical and legal aspects of RFID tags mounting on vehicles license plates. A methodology of building high speed broadband wireless network, transmitting multimedia data and providing real time connections between stationary and mobile traffic rules violations registration devices with control center, is proposed. To estimate network productivity characteristics a multiphase stochastic queueing system model is proposed. The discussion of practical aspects of research and implementation of the automated traffic rules violation registration system with RFID and novel wireless technologies utilization concludes the paper.

Key words: RFID, broadband wireless networks, multiphase stochastic system, mathematical modeling.

Введение. Во многих странах мира, в том числе в России, одним из наиболее эффективных способов решения проблемы аварийности на автодорогах является создание систем автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения (ПДД). В мировой практике для автоматизированного контроля правонарушений на автодорогах широко используется аппаратура видеofиксации, включающая радарное устройство для измерения скорости движения транспортного средства (ТС) и оптическую фотокамеру для фиксации номерного знака (идентификации) ТС.

Однако указанная аппаратура имеет ряд существенных недостатков, которые затрудняют, а иногда делают невозможной идентификацию автомобиля — нарушителя ПДД:

- отсутствие возможности распознавания сильнозагрязненных государственных регистрационных знаков (ГРЗ) в плохих погодных условиях (туман, дождь, снег) или намеренно загрязненных номерных знаков;

- отсутствие оперативной передачи информации в центр управления и контроля, что лишает возможности реагирования на правонарушения в реальном масштабе времени.

Вследствие указанных недостатков вероятность обнаружения автомобиля, нарушившего скоростной режим, составляет менее 50 %. В настоящей работе приводится описание автоматизированной системы контроля безопасности на автодорогах, разработанной с использованием RFID-технологии и широкополосных беспроводных средств, обеспечивающих значительное повышение вероятности обнаружения нарушителя ПДД. Повышение качества идентификации ТС на автодорогах достигается за счет применения метода радиочастотной идентификации, обладающего рядом существенных преимуществ по сравнению с другими известными методами бесконтактной идентификации автомобилей:

- активные радиометки, расположенные на номерном знаке автомобиля, читаются через грязь, воду, туман, пластмассу и т. д.;

- радиометки, содержащие большой объем информации о ТС, допускают не только чтение, но и возможность записи (перезаписи) информации;

- практически полное исключение подделки и разрушения информации за счет использования различных систем шифрации радиометки;

- возможность считывания информации ридером на большом расстоянии (до 50 м) от активной метки, расположенной на ГРЗ автомобиля.

Для ликвидации второго из указанных выше недостатков существующих систем видеofиксации в настоящей работе предлагается методология построения высокоскоростной беспроводной связи вдоль автодорог для передачи информации от систем фиксации нарушений ПДД в центр управления и контроля в реальном масштабе времени. Таким образом, будет обеспечена высокоскоростная связь не только с разрабатываемой стационарной и подвижной аппаратурой идентификации нарушений ПДД, но и с патрульными машинами и постами ГИБДД вдоль всей трассы.

Несмотря на широкое развитие и применение систем видеofиксации [1], широкополосной беспроводной связи [2] и RFID-технологий [3], в настоящее время не существует аналогов автоматизированной системы, предлагаемой в данной работе. Новизна и оригинальность разрабатываемой системы подтверждены проведенным патентным поиском и получением патента № 99207 от 10 ноября 2010 г. “Автоматизированная система контроля нарушений ПДД на базе широкополосных беспроводных сетей передачи информации и RFID-технологий” [4].

1. Краткое описание RFID-технологии, возможность использования ее для фиксации нарушений ПДД. Термин “радиочастотная идентификация” (radio frequency

identification (RFID)) используется с 60-х гг. XX в. Однако лишь в последнее десятилетие радиочастотная идентификация получила широкое распространение и стала одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в области автоматической идентификации объектов и беспроводной связи.

Радиочастотная идентификация позволяет осуществлять автоматическую идентификацию объекта в реальном времени, автоматизировать процесс сбора и обработки информации бесконтактным способом, а также вести временной учет событий с участием данного объекта. RFID-технология используется для того, чтобы идентифицировать, проследить, рассортировать и обнаружить неограниченное количество предметов включая документы, транспортные средства, одежду, контейнеры и т. д. Кроме того, она может быть использована для автоматизации производственных процессов, автоматизации систем управления, организации систем контроля доступа и систем безопасности, контроля и учета рабочего времени, построения дисконтных и логистических систем, защиты товаров и документов от подделок.

Использование технологии радиочастотной идентификации предполагает наличие трех основных компонентов:

- радиометки или RFID-метки (транспондера, иногда также применяется термин “RFID-tag” (RFID-tag)) — средства маркировки отслеживаемого объекта;
- устройства для чтения и записи таких радиометок (считывателя, ридера (reader) или интеррогатора);
- серверного программного обеспечения, которое расшифровывает полученную со считывателей информацию о радиометках и представляет ее в формате, подходящем для систем управления, образующих информационную инфраструктуру.

Принцип работы системы радиочастотной идентификации состоит в следующем: антенна считывателя излучает электромагнитные волны, которые принимает антенна радиометки. За счет энергии этих волн осуществляется питание чипа, встроенного в метку. В результате этого метка активизируется, вступает в радиообмен для самоидентификации и передает информацию считывающему устройству или производит запись информации, полученной от считывателя, в свою память. Основные компоненты метки — интегральная схема (чип), управляющая связью со считывателем, и антенна. Чип имеет память, которая хранит идентификационный код или другие данные. RFID-метка размещается на объекте идентификации и является источником информации о данном объекте. Метка может содержать данные о типе объекта, стоимости, весе, температуре, данные логистики, а также любую другую информацию об объекте. С учетом отсутствия потребности в контакте или прямой видимости между считывателем и меткой, а также того, что радиосигнал легко проникает через многие материалы, метки могут быть скрыты внутри тех объектов, которые подлежат идентификации.

RFID-метки обладают возможностью многократной записи и считывания информации, а также хранения большого объема информации (до 10 000 байт). При условии нахождения метки в зоне считывателя скорость считывания достигает более 1000 меток в секунду с достоверной точностью до 100 %. При этом в зависимости от используемых модели метки и считывателя радиус считывания может достигать нескольких сотен метров. В настоящее время осуществляется промышленный выпуск пассивных меток, предназначенных для работы на небольших расстояниях от считывателя, и активных меток, обеспечивающих дальность считывания свыше 100 м.

Активные метки, обладающие собственным источником питания (время жизни батареи питания составляет от 3 до 10 лет), могут генерировать выходной сигнал большего уров-



Рис. 1. Зоны размещения RFID-метки на ГРЗ типа 1 с трехзначным кодом региона регистрации (габаритные размеры 520×112 мм): зона А — 125×24 мм; зона В — 80×24 мм; зона С — 90×26 мм; зона D — 90×22 мм

ня, чем пассивные, что позволяет применять их в более агрессивных для радиочастотного сигнала средах (воде, металлах), а также на воздухе на больших расстояниях.

Возможность работы на значительных расстояниях, большой объем памяти для записи (считывания) информации о ТС и его владельце (приблизительно 550 Мбайт), возможность установки на ТС, движущемся со скоростью 120÷150 км/ч, определили целесообразность использования активных меток в автоматизированной системе контроля нарушений ПДД.

Активная RFID-метка может размещаться в различных местах установки на ТС: на номерном знаке; на решетке радиатора, на ветровом стекле; в корпусе зеркала заднего вида или бокового зеркала. Наиболее рациональным и перспективным вариантом является установка RFID-метки на номерном знаке. Это обусловлено тем, что такое решение может быть тиражировано в промышленном масштабе, а также тем, что существующие системы видеоконтроля уже «нацелены» на фиксацию и считывание зоны, где расположен номерной знак.

На рис. 1 представлены габаритные размеры ГРЗ и возможные зоны размещения на его поверхности RFID-метки, работающей в частотном диапазоне 433 или 860÷930 МГц. Представленные размеры четырех зон А, В, С, D полностью включаются в габаритные размеры номерного знака и не могут повлиять на его визуальную идентификацию (читаемость знака).

При размещении на номерном знаке необходимо использовать RFID-метку для металлических поверхностей (onMetal). Крепление RFID-метки к номерному знаку может быть выполнено с помощью заклепок, винтов или клея. На стадии внедрения такой технологии данная процедура выполняется сотрудниками ГИБДД. В дальнейшем, при массовом использовании технологии RFID на автомобильном транспорте, установка метки на ГРЗ может выполняться в промышленном масштабе.

После установки RFID-метки на ГРЗ сотрудники ГИБДД осуществляют процесс программирования и записи информации на нее с помощью ридера. Весь объем записанной информации, а также идентификатор метки заносятся в базу данных (БД) ГИБДД, после чего ГРЗ с меткой выдается владельцу транспортного средства для крепления на автомобиль. Преимуществом такого размещения является то, что номерной знак совмещен с RFID-меткой и представляет единое изделие.

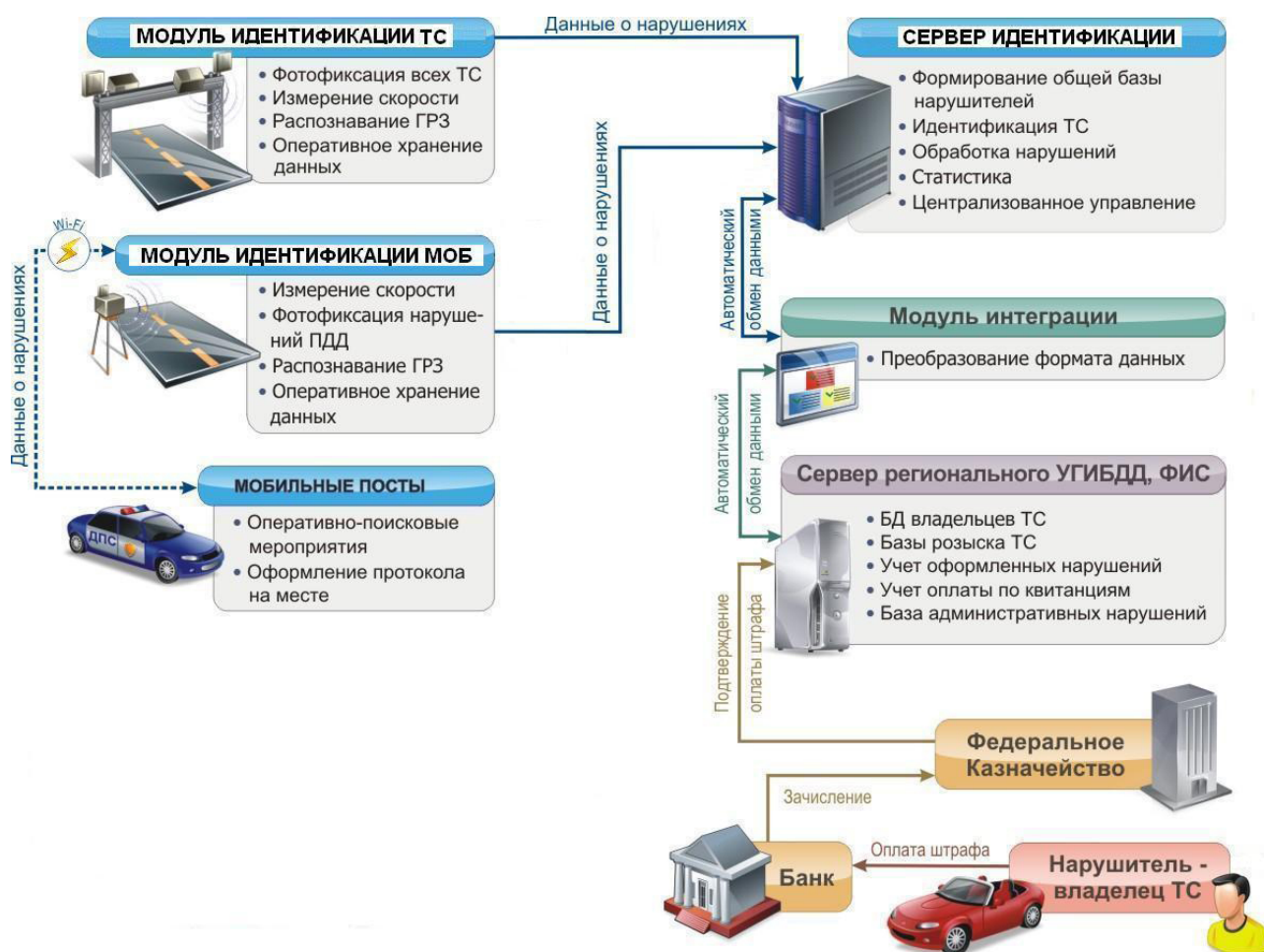


Рис. 2. Схема функционирования автоматизированной системы безопасности

2. Принципы построения автоматизированной системы и основного модуля идентификации нарушений ПДД. По сути, радиочастотная идентификация и видеофиксация являются автономными системами, способными работать независимо друг от друга. Однако комбинированное использование этих систем позволит структурам ГИБДД уменьшить вероятность ошибок, повысить достоверность информации и оперативно реагировать на правонарушения.

Информация, полученная от системы видеофиксации и параллельно от системы радиочастотной идентификации, оперативно передается в центр управления и заносится в БД ГИБДД. Поскольку эти системы функционируют в режиме реального времени, возможно проведение сравнительного анализа данных по одному и тому же ТС. В условиях плохой погоды и слабой читаемости номерного знака (на фото видны только несколько символов) вступает в действие программная реализация алгоритма выборки и сравнения наиболее вероятных совпадений данных видеофиксации и радиочастотной идентификации (по времени фиксации, известным символам ГРЗ). Кроме того, возможно проведение сравнительного анализа полученных данных по цвету кузова ТС, его типу, марке или модели автомобиля.

Схема функционирования автоматизированной системы безопасности на автодорогах приведена на рис. 2. На данной схеме представлены модули идентификации двух типов, установленные на автомобильной трассе: модуль идентификации стационарного типа (СТ) и мобильный (МОБ) модуль идентификации. Данные модули осуществляют фотофиксацию

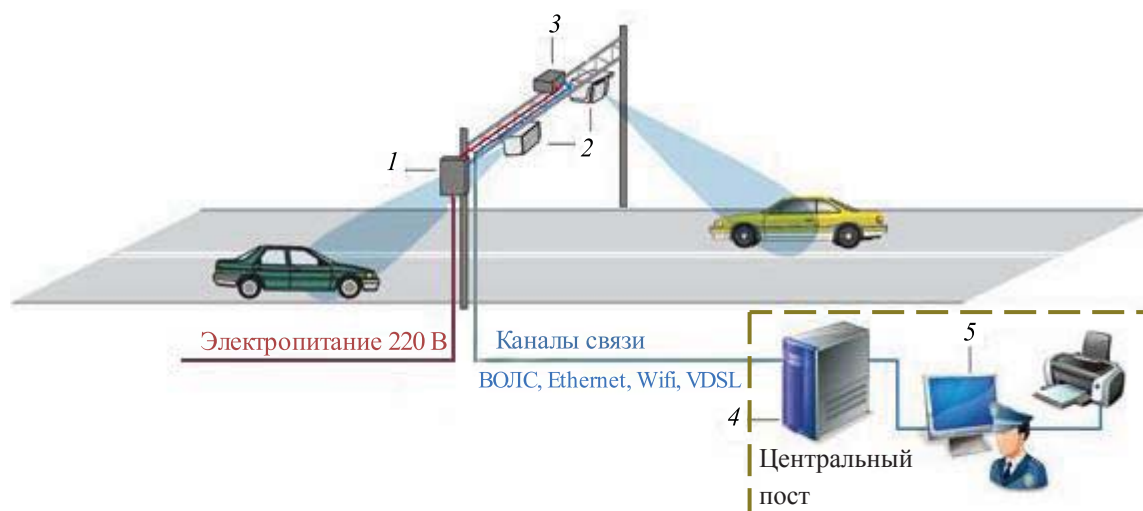


Рис. 3. Схема работы стационарного модуля идентификации:
 1 — источник электропитания переменного тока; 2 — модуль идентификации;
 3 — концентратор; 4 — сервер БД; 5 — рабочее место оператора

ТС, измерение их скорости, распознавание ГРЗ, радиочастотную идентификацию меток ТС, а также запись и оперативное хранение полученной информации. Кроме того, модули идентификации содержат радиомаршрутизатор для настройки, управления и передачи информации на мобильный или стационарный пост.

Вся информация от указанных модулей по каналам связи передается на сервер идентификации, расположенный в структурном подразделении управления ГИБДД (УГИБДД), которое осуществляет сбор и обработку информации, поступающей от всех модулей идентификации данного подразделения. В целях осуществления проверки данных о ТС и его владельце, а также для принятия процессуального решения удаленный доступ к серверу имеют инспекторы ГИБДД. Кроме того, сервер идентификации осуществляет автоматический обмен данными с модулем интеграции, который осуществляет преобразование формата всех полученных данных. В свою очередь модуль интеграции осуществляет автоматический обмен данными с сервером регионального УГИБДД, в памяти которого содержатся базы данных владельцев ТС, базы розыска ТС, базы административных нарушений. Данный сервер осуществляет также учет оформленных нарушений и учет оплаты по квитанциям.

Инспекторы ГИБДД направляют владельцу ТС (нарушителю ПДД) через ФГУП «Почта России» почтовое отправление с квитанцией об оплате штрафа. Владелец ТС производит оплату штрафа по данной квитанции в любом отделении банка. Информация об оплате передается из банка в Федеральное казначейство. По существующим каналам связи сервер регионального УГИБДД получает оперативную информацию из Федерального казначейства о подтверждении оплаты штрафа нарушителем ПДД.

На рис. 3 приведена схема работы стационарного модуля идентификации на участке автомобильной дороги. На данной схеме представлены два модуля идентификации, которые осуществляют работу в двух направлениях движения автотранспорта. Питание модулей осуществляется от источника электропитания переменного тока (220 В). Оба модуля подключены к концентратору, который по каналам связи осуществляет передачу информации на центральный пост ГИБДД, где находятся сервер баз данных и рабочее место оператора.



Рис. 4. Схема работы мобильного модуля идентификации

На рис. 4 представлена схема работы мобильного модуля идентификации на участке автомобильной дороги. Согласно данной схеме оперативная информация о ТС с мобильного модуля идентификации в реальном времени передается по беспроводным каналам связи. При этом по клиентским каналам связи информация поступает на мобильный пост, а по магистральному каналу связи — на центральный пост. Оборудование беспроводной точки доступа располагается на вышке опорной сети передачи информации.

В состав модуля идентификации входят четыре основных узла, которые осуществляют контроль за объектом идентификации и передачу полученной информации: радарный датчик, видеокамера, считыватель RFID-меток, радиомаршрутизатор. Управление всеми узлами модуля идентификации осуществляется микропроцессором по трем шинам: управляющей, адресной и шине данных.

В качестве дополнительных узлов используются внутренняя память (ROM и RAM), порты ввода-вывода, сетевой адаптер LAN, параллельные порты COM, дополнительные слоты расширения. Электропитание всех узлов модуля идентификации осуществляется от внутреннего блока питания.

Архитектура основного аппаратного модуля идентификации представлена на рис. 5.

Радарный датчик модуля идентификации должен содержать блок радиолокационного измерителя скорости и дальности объектов контроля, а также внешнюю плоскую антенну с диапазоном частот 2,4 ГГц. Данный узел построен в соответствии с классической импульсной схемой передачи сигналов с последующим цифровым накоплением и обработкой всех принятых отраженных импульсов. Далее производится экстраполяция полученных данных и формируется матрица координат целей, которая передается в микропроцессор.

Видеокамера модуля идентификации должна включать в свой состав высокочувствительную телекамеру и инфракрасный прожектор для подсветки в темное время суток. Информация от видеокамеры (видеопоток) передается в микропроцессор для распознавания ГРЗ транспортного средства на программном уровне видеоаналитики. Кроме того, на основе этой информации микропроцессор выполняет оценку “пиксельной” скорости ТС, производит трассировку движения автомобиля, а затем проводит сравнение вычисленных данных с



Рис. 5. Архитектура основного аппаратного модуля идентификации

информацией, полученной от радарного датчика. Эта операция позволяет отделять случайные радарные данные и различать объекты, движущиеся на одной дальности, но с разными скоростями.

Как только объект, находящийся в пределах рабочего диапазона радара, превышает пороговую скорость, он автоматически заносится в список объектов “на сопровождение”. При этом формируется кадр “Захват объекта”, и при достижении установленной дальности микропроцессор дает команду “Захват кадра”. При этом осуществляются обнаружение и распознавание ГРЗ транспортного средства.

Считыватель RFID-меток модуля идентификации содержит непосредственно ридер меток и антенное устройство. При поступлении от микропроцессора команды “Захват кадра” осуществляется запуск процедуры считывания RFID-меток, находящихся в зоне действия считывателя.

На основе данных, полученных от радарного датчика, видеокамеры и считывателя RFID-меток, окончательно формируется кадр изображения объекта, на котором присутствует следующая информация:

- ГРЗ, отчетливо видимый на реальной фотографии;
- дата и время события;
- скорость ТС;
- автоматически распознанный ГРЗ;
- номер модуля идентификации.

Радиомаршрутизатор осуществляет передачу данного кадра по клиентским и магистральным радиоканалам опорной сети передачи информации в оперативный центр УГИБДД. Кроме того, передается весь поток видеокадров, а также информация обо всех радиометках в зоне действия модуля идентификации для их просмотра, сравнения и архивирования в БД оператором в режиме реального времени.

3. Широкополосная беспроводная сеть автоматизированной системы безопасности на автодорогах. В данном пункте приводится описание методологии построения высокоскоростной телекоммуникационной сети, обеспечивающей передачу информации от устройств фиксации нарушений ПДД в центр управления в реальном масштабе времени. Реализация такой сети позволяет устранить один из основных недостатков существующих систем контроля нарушений ПДД — отсутствие оперативной связи с центром управления и контроля ГИБДД.

Высокоскоростная связь вдоль автодорог может быть реализована как с использованием наземных оптоволоконных технологий, так и на базе современных беспроводных средств. Однако следует отметить, что прокладка нового оптического волокна вдоль существующих автомобильных трасс практически невозможна вследствие высокой стоимости таких проектов. В тех зонах, где оптоволокно проложено, подключение к нему стационарных систем фиксации нарушения ПДД осложнено из-за технических и финансовых трудностей и невозможно на передвижных пунктах фиксации нарушений. Кроме того, существуют проблемы межведомственного согласования с владельцами оптических линий связи. Таким образом, единственным эффективным средством является использование современных беспроводных технологий IEEE 802.11n (WiFi), IEEE 802.16m (WiMAX), LTE и CDMA 2000 (сотовая связь) для создания высокоскоростной сети передачи информации вдоль автодорог.

Среди перечисленных вариантов реализации беспроводной сети оптимальным (по критериям стоимости, времени проектирования, простоты реализации и сопровождения) является выбор аппаратно-программных средств, функционирующих под управлением протокола IEEE 802.11n с использованием технологии MIMO. Такой выбор обеспечивает высокую номинальную скорость (до 300 Мбит/с в полудуплексном режиме), качество и надежность передачи мультимедийной информации в сети.

На рис. 6 представлен вариант размещения базовых станций опорной сети передачи информации на участке автодороги. Беспроводная сеть передачи данных должна быть условно разделена на две составляющие: магистральные каналы связи и клиентские точки доступа.

Магистральные каналы связи осуществляют сквозной пропуск информационных потоков между базовыми станциями радиосети и доставку этих потоков в центр управления (ЦУ). В качестве магистральных каналов связи необходимо использовать частотный диапазон 5650÷6425 МГц.

Клиентские точки доступа осуществляют прием данных от клиентского оборудования (устройств видеофиксации, портативных компьютеров и других устройств со стандартными радиокартами WiFi), находящегося в зоне действия данной точки доступа, и передачу их в магистральные каналы связи с последующей доставкой в ЦУ.

Поскольку в клиентских устройствах применяются модули WiFi стандарта IEEE 802.11a/g, в качестве клиентских точек доступа необходимо использовать оборудование с рабочим диапазоном частот 2400÷2483 МГц. Клиентами (абонентами) беспроводной сети в зоне доступа могут быть любые мобильные или стационарные устройства, имеющие модуль WiFi стандарта IEEE 802.11b/g.

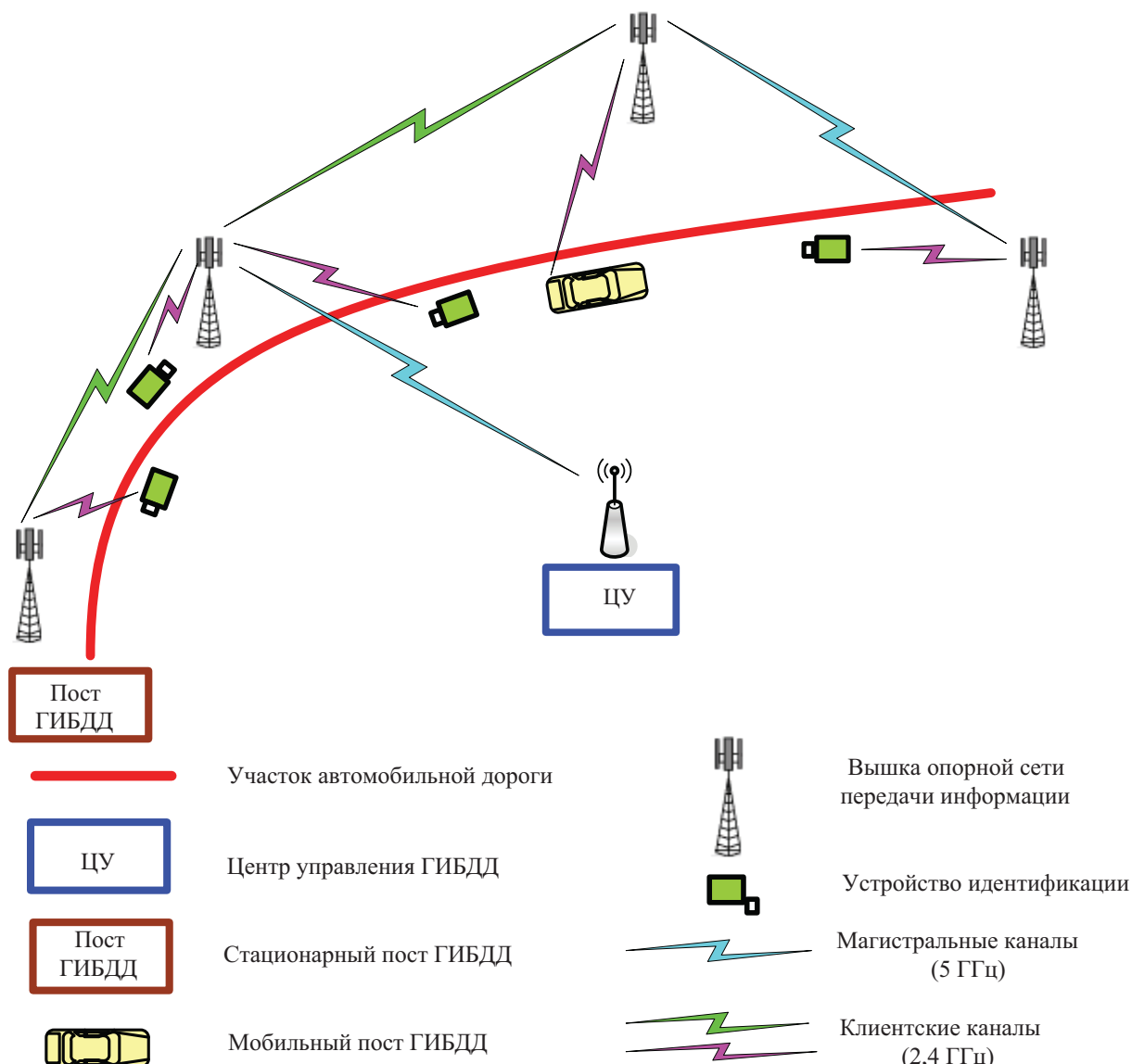


Рис. 6. Размещение базовых станций опорной сети передачи информации на участке автодороги

Выбор топологии размещения базовых станций обусловлен наличием условий “прямой видимости” между точками и расстоянием между ними в пределах 20 км, что гарантирует высокоэффективную пропускную способность магистральных радиоканалов.

На рис. 6 показаны базовые станции радиосети, магистральные каналы связи между ними, клиентские точки доступа, размещенные на этих базовых станциях, а также возможные клиенты данных точек доступа (устройства идентификации, мобильный пост, стационарный пост). Центр управления находится в здании УГИБДД и посредством беспроводного канала связан со всеми абонентами радиосети.

Все магистральные каналы связи между базовыми станциями радиосети работают в режиме “точка – точка”. В качестве оборудования для магистральных каналов должны быть использованы радиомаршрутизаторы протокола IEEE 802.11n, обладающие высокоэффективной пропускной способностью (не менее 120 Мбит/с) и надежностью.

Все клиентские точки доступа, размещенные на базовых станциях радиосети, должны работать в режиме “Базовая станция” для поддержания режима связи с абонентами “точка – многоточка”. В качестве оборудования для клиентских точек доступа используются радио-

маршрутизаторы протокола IEEE 802.11a,b,g, обладающие эффективной пропускной способностью (не менее 20 Мбит/с). Данные радиомаршрутизаторы должны быть совместимыми с любым оборудованием, функционирующим под управлением протокола IEEE 802.11a,b,g, для осуществления связи с существующими и возможными абонентами сети этой точки доступа. Максимальное количество абонентских устройств, подключенных к одной клиентской точке доступа, не должно превышать 10. Превышение данного числа абонентских устройств (при интенсивной работе каждого из них) может привести к коллизиям в беспроводной сети и соответственно к нарушению устойчивой работоспособности всей зоны доступа WiFi. Таким образом, средняя эффективная пропускная способность для каждого абонентского устройства зоны доступа WiFi должна составлять не менее 2 Мбит/с. Такие скорости приема-передачи данных в беспроводной сети позволяют предоставить клиенту (абоненту) зоны доступа WiFi весь спектр услуг с перспективой дальнейшего расширения ассортимента услуг доступа к информационным ресурсам.

Для радиомаршрутизаторов, установленных на одной базовой станции, должен быть предусмотрен диапазон рабочих частот не менее 20 МГц для исключения перекрытия спектра сигнала, излучаемого соседними устройствами, которое может привести к нарушению нормальной работы радиоканалов.

Описанная выше методология построения беспроводной сети автоматизированной системы контроля нарушений ПДД была использована при разработке и реализации широкополосной беспроводной сети вдоль автодороги М7 “Волга”. Высокоскоростная беспроводная сеть разработана ГИБДД Республики Татарстан и научно-производственной фирмой “Информационные и сетевые технологии”. Сеть реализована на базе новейшей отечественной аппаратуры “Рапира”, функционирующей под управлением международного протокола IEEE 802.11n и технологии MIMO.

Опытная эксплуатация беспроводной сети подтвердила правильность заложенных принципов построения и выявила ряд недостатков, которые необходимо устранить до перехода к промышленной эксплуатации.

4. Разработка математических моделей автоматизированной системы безопасности на основе теории стохастических многофазных систем. В автоматизированной системе безопасности передача информации о нарушениях ПДД в центр управления осуществляется путем передачи стохастических потоков пакетов от RFID-считывателей и устройств видеонаблюдения по цепочке беспроводных каналов связи с буферированием в промежуточных узлах (радиомаршрутизаторах). Поэтому адекватной моделью процесса передачи информации в автоматизированной системе безопасности является многофазная стохастическая система, описываемая в обозначениях Кендалла [5] следующим образом:

$$M/M/n_1/\infty \rightarrow /M/n_2/\infty \rightarrow \dots \rightarrow /M/n_r/\infty.$$

Данная система представляет собой многофазную систему массового обслуживания (СМО), состоящую из r последовательно соединенных многоканальных СМО с неограниченными буферными накопителями. Поскольку передача информации о нарушениях ПДД должна осуществляться в реальном масштабе времени, основными характеристиками, исследуемыми в рамках модели, являются среднее время передачи пакетов в центр управления, маргинальные длины очередей, время пребывания пакетов на фазах системы и др.

Пусть λ — интенсивность входящего пуассоновского потока пакетов и плотность распределения длин пакетов

$$f(x) = b \exp -bx,$$

где $1/b$ — средняя длина пакета, байт. Тогда функция распределения длительности обслуживания пакетов в каждом канале k -й фазы является экспоненциальной с параметром $\mu_k = Z_k b_k$, $k = \overline{1, r}$ (Z_k — пропускная способность канала k -й фазы, бит/с).

Обозначим через $i_k(t)$ число пакетов в СМО k -й фазы ($k = \overline{1, r}$) в момент времени $t \geq 0$, а через $P(i_1, \dots, i_r)$ стационарную вероятность состояния i_1, \dots, i_r многофазной системы:

$$P(i_1, \dots, i_r) = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{i_1(t) = i_1, \dots, i_r(t) = i_r\}, \quad i_k \geq 0, \quad k = \overline{1, r}. \quad (1)$$

Нетрудно показать, что условием существования пределов (1) является выполнение неравенств

$$\rho_i = \frac{\lambda}{n_i \mu_i} < 1, \quad i = \overline{1, r},$$

где n_i — число каналов обслуживания на i -й фазе. Далее будем полагать эти неравенства выполненными. Используя Δt -метод, можно получить систему дифференциальных уравнений для вероятностей $P\{i_1(t) = i_1, \dots, i_r(t) = i_r\}$, откуда, переходя к пределу $t \rightarrow \infty$, получим систему линейных уравнений для стационарных вероятностей $P(i_1, \dots, i_r)$

$$\begin{aligned} (\lambda + \sum_{k=1}^r a_k(i_k) \mu_k) p(i_1, \dots, i_r) = & \lambda p(i_1 - 1, i_2, \dots, i_r)(1 - \delta_{i_1, 0}) + \\ & + \sum_{k=1}^r p(i_1, \dots, i_k + 1, i_{k+1} - 1, i_{k+2}, \dots, i_r)(1 - \delta_{i_{k+1}, 0}) \mu_k + \\ & + p(i_1, \dots, i_{r-1}, i_r + 1) a_r(i_r + 1) \mu_r, \quad i_k \geq 0, \quad k = \overline{1, r}, \quad (2) \end{aligned}$$

где

$$a_k(i) = \begin{cases} i, & 0 \leq i \leq n_k, \\ n_k, & i > n_k, \end{cases} \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j. \end{cases}$$

Непосредственной подстановкой можно убедиться, что решение линейной системы (2) имеет вид

$$p(i_1, \dots, i_r) = p(0, \dots, 0) \prod_{k=1}^r C_k(i_k), \quad (3)$$

где

$$C_k(i) = \begin{cases} (n_k \rho_k)^i / i!, & 0 \leq i \leq n_k, \\ (n_k \rho_k)^i / n_k!, & i > n_k. \end{cases}$$

Вероятность $p(0, \dots, 0)$ находится из условия нормировки

$$\sum_{i_1=0}^{\infty} \dots \sum_{i_r=0}^{\infty} p(i_1, \dots, i_r) = 1 \quad (4)$$

и имеет вид

$$P(0, \dots, 0) = \prod_{k=1}^r \left(\sum_{i_k=0}^{\infty} C_k(i_k) \right)^{-1}.$$

Из (3), (4) следует, что стационарные вероятности $P(i_1, \dots, i_r)$ рассматриваемой многофазной системы можно представить в мультипликативном виде

$$P(i_1, \dots, i_r) = \prod_{k=1}^r \lim_{t \rightarrow \infty} P\{i_k(t) = i_k\}, \quad (5)$$

т. е. совместная вероятность того, что в произвольный момент времени на k -й фазе находится i_k пакетов ($k = \overline{1, r}$), равна произведению вероятностей того, что i_k пакетов в данный момент находится на k -й фазе независимо от числа пакетов на других фазах. Этот факт, а также теорема Берка [6] позволяют записать выражения для маргинальных длин очередей пакетов \overline{L}_i и средних времен пребывания пакетов \overline{T}_i на фазах системы в виде

$$\overline{L}_i = \frac{\mu_i \rho_i}{Z_i b_i - \Lambda_i}, \quad \overline{T}_i = \frac{1}{Z_i b_i - \Lambda_i}, \quad i = \overline{1, r}, \quad (6)$$

где Λ_i — интенсивность потока пакетов, поступающих на i -ю фазу, представляющая собой сумму интенсивности потока λ с предыдущей, $(i - 1)$ -й фазы и интенсивности потока λ_i , образованного RFID-считывателем и видеофиксатором нарушений ПДД на i -й фазе ($i = \overline{1, r}$).

Из (5), (6) следует, что выражение для максимальной задержки пакетов, т. е. среднего времени прохождения пакетов с момента поступления в очередь первой фазы до момента поступления в центр управления, имеет вид

$$\overline{T}_{\max} = \sum_{i=1}^r 1/(Z_i b_i - \Lambda_i).$$

Для получения численных данных будем полагать, что на всех фазах производительность беспроводных каналов одинакова и равна $Z = 54$ Мбит/с или $Z = 300$ Мбит/с; средняя длина пакета $1/b = 1400$ байт; количество каналов на каждой фазе одинаково: $n_1 = n_2, \dots, n_r = 1$; число фаз равно трем; потоки $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda$.

Зависимость максимальной задержки пакетов до поступления в центр управления от интенсивности потока пакетов приведена на рис. 7.

Заключение. В работе рассмотрены принципы построения нового класса автоматизированных систем контроля нарушений ПДД с использованием RFID-технологии и широкополосных беспроводных средств. Осуществлен выбор активных RFID-меток и мест их расположения на транспортных средствах. Предложена архитектура основного модуля идентификации нарушений ПДД, включающего RFID-считыватель, радар, видеокамеру и радиомаршрутизатор беспроводной сети. Представлена методология построения вдоль автодорог высокоскоростной беспроводной сети для передачи мультимедийной информации о нарушениях ПДД в центр управления ГИБДД в реальном масштабе времени. Описан пример применения этой методологии при разработке и реализации беспроводной сети вдоль автодороги М7 “Волга”. На базе многофазных стохастических систем создана математическая модель, адекватно описывающая функционирование автоматизированной системы безопасности на автодорогах.

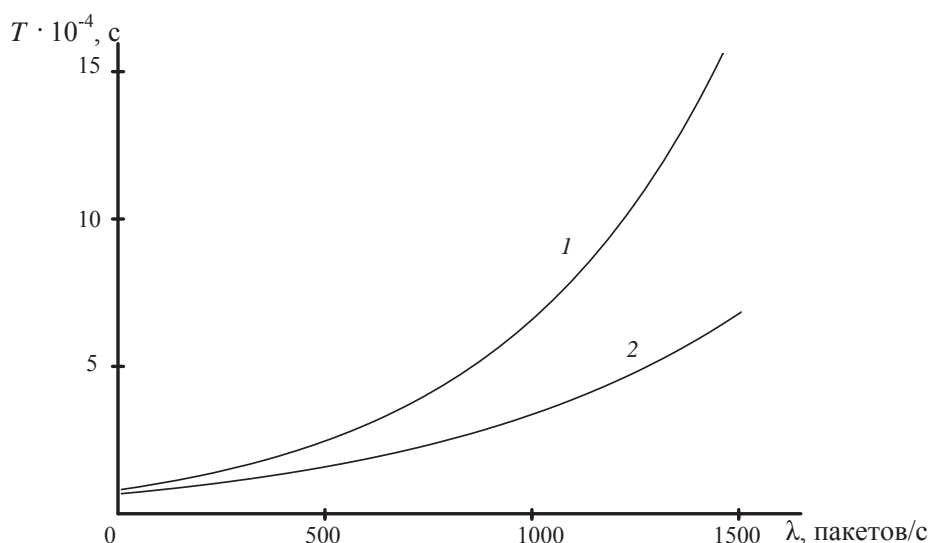


Рис. 7. Зависимость максимальной задержки от интенсивности потока пакетов λ при пропускной способности беспроводного канала $Z = 54$ Мбит/с (1) и $Z = 300$ Мбит/с (2)

Разработка и внедрение предлагаемой системы обеспечат значительное повышение вероятности обнаружения и пресечения нарушений ПДД, повышение эффективности борьбы с поддельными номерными знаками, ускорение поиска угнанных автомобилей.

Для реализации системы в рамках НИОКР должен быть создан основной модуль идентификации, а также программное обеспечение алгоритма выборки и сравнения данных видеофиксации и радиочастотной идентификации и т. д. Кроме того, должны быть разработаны меры законодательного характера, предусматривающие возможность расположения RFID-меток на номерном знаке транспортного средства.

Список литературы

1. Опыт применения систем видеофиксации нарушений правил дорожного движения (на примере Республики Татарстан) / Под общ. ред. Р. Н. Минниханова. Казань: Изд-во НЦ БЖД, 2009. 128 с.
2. ВИШНЕВСКИЙ В. М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В. М. Вишнеvский, С. Л. Портной, С. Л. Шахнович. М.: Техносфера, 2010. 471 с.
3. ФИНКЕНЦЕЛЛЕР К. Справочник по RFID. М.: Издат. дом «Додека-XXI», 2008. 496 с.
4. Пат. 99207 РФ, G 06 F 9/00. Автоматизированная система контроля нарушений ПДД на базе широкополосных беспроводных сетей и RFID-технологии / В. М. Вишнеvский, Р. Н. Минниханов. Заявл. 20.07.10; Оpubл. 10.11.10, Бюл. № 31.
5. ВИШНЕВСКИЙ В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. 509 с.
6. BURKE P. J. The output of a queueing system // Oper. Res. 1956. V. 4. P. 699–704.

Вишнеvский Владимир Миронович — д-р техн. наук, проф., генеральный директор научно-производственной фирмы «Информационные и сетевые технологии»; тел.: (499) 720-51-29; e-mail: vishn@inbox.ru;

Минниханов Рифкат Нургалеевич — д-р техн. наук, проф., начальник Управления Государственной инспекции безопасности дорожного движения Министерства внутренних дел по Республике Татарстан; e-mail: rifkat16@gmail.com

Дата поступления — 23.12.11 г.