

Новое поколение систем безопасности на автодорогах и их применение в интеллектуальных транспортных системах¹

В.М. Вишневецкий, Р.Н. Минниханов, А.Н. Дудин, В.И. Клименок, А.А. Ларионов, О.В. Семенова

Аннотация. Приводится описание принципов построения и исследование эффективности нового поколения автоматизированных систем контроля нарушений ПДД, а также математические методы исследования производительности широкополосных беспроводных сетей систем безопасности на автодорогах.

Ключевые слова: автоматизированная система, контроль нарушений ПДД, интеллектуальная транспортная система, стохастическая многофазная модель.

Введение

Аварийность на автодорогах является одной из острейших социально-экономических проблем, стоящих перед большинством стран мира. В некоторых странах (США, Китай) эта проблема уже выведена на уровень государственного приоритета. По данным Всемирной организации здравоохранения в мире каждые 30 секунд на дороге погибает человек и ежегодно жертвами дорожно-транспортных происшествий становятся 1,2 млн. человек; 20 млн. человек получают тяжелые увечья. Глобальные экономические потери в результате ДТП составляют по информации Всемирного банка порядка 500 млрд. долларов в год. На российских дорогах ежегодно погибает 27000 человек, что в два раза больше, чем в странах Западной Европы. Поэтому в РФ борьба с аварийностью на автодорогах является весьма актуальной проблемой.

Во многих странах мира, в том числе и в России, одним из наиболее действенных путей решения проблемы аварийности на автодорогах является создание систем автоматической фиксации нарушений правил дорожного движения (ПДД). В мировой практике для автоматизиро-

ванного 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 [1].

Однако указанная аппаратура имеет ряд существенных недостатков, которые затрудняют, а порой делают невозможной идентификацию автомобиля – нарушителя ПДД.

К основным из них относятся:

- отсутствие возможности распознавания сильно загрязненных 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.

Из-за указанных недостатков вероятность обнаружения автомобиля, нарушившего скоростной режим, составляет менее 50%. Разработка автоматизированной системы контроля безопасности на автодорогах с использованием

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №13-07-00737.

RFID-технологии и широкополосных беспроводных средств позволит обеспечить значительное повышение вероятности обнаружения нарушителя ПДД (до 90%) [2]. Столь большое увеличение вероятности обнаружения нарушителей ПДД делает наказание за эти нарушения практически неотвратимым, что в свою очередь позволит значительно снизить аварийность на автодорогах.

Повышение качества идентификации ТС на автодорогах достигается за счет применения метода радиочастотной идентификации, обладающего целым рядом существенных преимуществ относительно других известных методов бесконтактной идентификации автомобилей. Эти преимущества состоят в следующем:

- пассивные радиометки, расположенные на номерном знаке автомобиля, читаются через грязь, воду, туман, пластмассу и т.д.;
- радиометки несут большое количество информации о ТС, допуская не только чтение, но и возможность записи/перезаписи информации;
- подделки и разрушения информации практически невозможны за счет использования различных систем шифрации радиометки;
- информация может считываться ридером на большом расстоянии от пассивной метки, расположенной на ГРЗ автомобиля.

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

На Рис.1 представлены габаритные размеры государственного регистрационного знака и возможные зоны размещения RFID-метки, работающей в частотном диапазоне 433 или 860-930 МГц, на его поверхности. Представленные размеры четырех зон А, В, С и D полностью вписываются в габариты ГРЗ и не могут повлиять на его визуальную идентификацию. На Рис.1 также представлен номерной знак с пас-



Рис. 1. Зоны размещения RFID-метки на ГРЗ

сивной меткой и антенной, разработанный для данного проекта немецкой фирмой Tonpjes Group.

Для ликвидации второго недостатка существующих систем видеофиксации необходимо построение высокоскоростной беспроводной связи вдоль автодорог для передачи информации от систем фиксации нарушений ПДД в центр управления в реальном масштабе времени [3]. Это обеспечит не только высокоскоростную связь с разрабатываемой новой 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 видеофиксации, широкополосной беспроводной связи и RFID-технологий в настоящее время в мире отсутствуют автоматизированные системы, предлагаемые в данной статье. Новизна и оригинальность разрабатываемой системы подтверждена проведенным патентным поиском и получением патента № 99207 «Автоматизированная система контроля нарушений ПДД на базе широкополосных беспроводных сетей передачи информации и RFID-технологий» [4].

В данной статье приводится описание принципов построения нового поколения автоматизированных систем контроля нарушений ПДД, рассматриваются возможности использования разработанных аппаратно-программных средств в интеллектуальных транспортных системах, а также математические методы исследования производительности широкополосных беспроводных сетей систем безопасности на автодорогах.



Рис.2. Архитектура основного аппаратного модуля идентификации

1. Архитектура аппаратного модуля идентификации транспортных средств

В новую архитектуру аппаратного модуля идентификации транспортных средств (Рис.2) наряду с традиционными блоками радарного датчика и видеокamеры включаются блоки считывателя RFID-меток и радиомаршрутизатор. Программное обеспечение системы контроля нарушений ПДД дополняется программным комплексом интеграции и сравнения данных, поступающих от видеокamеры и считывателя RFID-меток, расположенных на ГРЗ транспортного средства.

В состав аппаратной платформы модуля идентификации (Рис.2) входят четыре основных узла, которые осуществляют контроль за объектом идентификации и передачу полученной информации: радарный датчик, видеокamера, 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 моду-

ля идентификации осуществляется от внутреннего блока питания.

Указанный комплекс сможет обеспечить распознавание номерного знака нарушителя ПДД в любых погодных условиях и в случае намеренно загрязненных ГРЗ.

На Рис. 3. представлена схема работы стационарного модуля идентификации на участке автомобильной дороги.

На данной схеме представлены два модуля идентификации (2), которые осуществляют работу в двух направлениях движения автотранспорта. Питание модулей осуществляется от источника электропитания 220 В переменного тока (1). Оба модуля подключены к концентратору (3), который по каналам связи осуществляет передачу информации на центральный пост ГИБДД, где расположен сервер баз данных (4) и рабочее место оператора (5).

На Рис. 4 представлена схема работы мобильного модуля идентификации на участке автомобильной дороги.

В настоящее время Научно-производственной фирмой «Информационные и сетевые технологии» (НПФ «ИНСЕТ» г. Москва) по заданию ГИБДД Татарстана разработан отечественный RFID-считыватель, удовлетворяющий следующим требованиям системы безопасности на автодорогах:

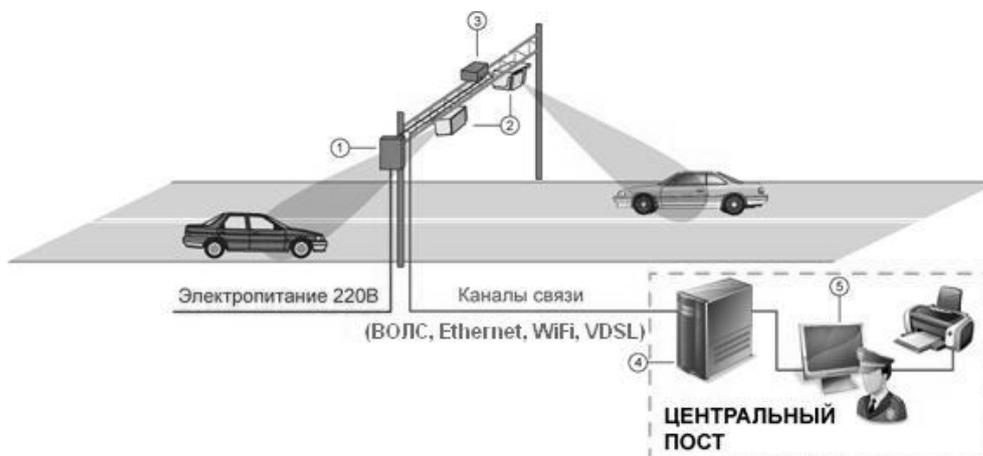


Рис. 3. Схема работы стационарного модуля идентификации

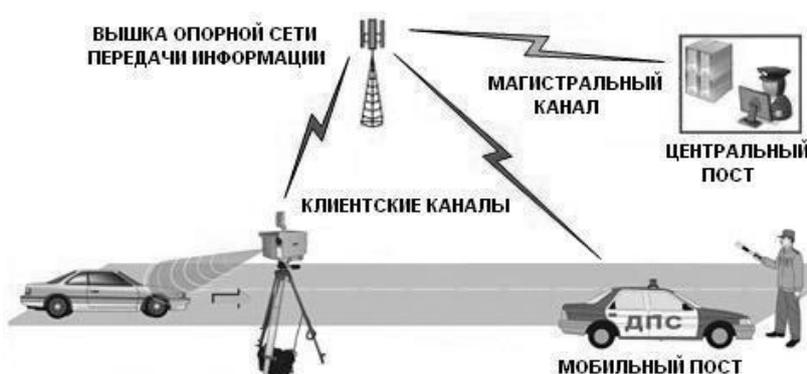


Рис.4. Схема работы мобильного модуля идентификации

- расстояние между RFID-считывателем и меткой, расположенной на номерном знаке, составляет не менее 10 м;

- RFID-считыватель работает в частотном диапазоне 860-930 МГц и удовлетворяет международному стандарту EPC Global UHF Class 1 Gen 2 / ISO 18000-6C;

- скорость движения распознаваемой метки – до 200 км/ч.

Немецкая фирма Tonjjes Group разработала для данного проекта номерные знаки со встроенными радиометками по стандарту ISO 18000-6C.

Летом 2012 года на полигоне ГИБДД в городе Казань проведены успешные испытания разработанного оборудования: надежно считывалась информация с сильно загрязненных номерных знаков при расположении RFID-считывателя на расстоянии до 10 метров от полосы движения автомобиля.

2. Широкополосная беспроводная сеть автоматизированной системы безопасности на автодорогах

Для эффективного функционирования автоматизированной системы необходимо построение высокоскоростной телекоммуникационной сети, обеспечивающей передачу информации от устройств фиксации нарушений ПДД в центр управления в реальном масштабе времени. Реализация такой сети устраняет 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. Среди возможных вариантов построения выделен-

ной сети передачи мультимедийной информации по критериям стоимости, времени проектирования, простоты реализации и сопровождения целесообразен выбор аппаратно-программных средств беспроводной сети, функционирующей под управлением протокола IEEE 802.11n с использованием технологии ММО. Такой выбор обеспечивает высокую номинальную скорость (до 300 Мбит/с), качество и надежность передачи мультимедийной информации в сети [3].

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 ресурс 5650 – 6425 МГц. Клиентские точки доступа, функционирующие в полосе частот 2400-2483 МГц, осуществляют прием и передачу данных от клиентского оборудования (устройства видеofиксации, портативные компьютеры и т.п. со стандартными радиокартами WiFi), находящегося в зоне данной точки доступа, в магистральные каналы связи с последующей доставкой в центр управления ГИБДД.

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 ММО. Опытная эксплуатация беспроводной сети подтвердила правильность заложенных принципов построения.

Для оценки характеристик производительности разработан комплекс математических моделей, адекватно описывающих функционирование рассмотренной выше широкополосной беспроводной сети. В качестве таких моделей

исследованы слабо изученные в мировой литературе [5] многофазные стохастические системы с ограниченными буферными накопителями и входящим MAP потоком пакетов от RFID-считывателей и радаров в центр управления. В терминах обозначений Кендалла [6] эта система может быть описана в виде

$$MAP/M^{(1)}/1/N_1 \rightarrow \bullet/M^{(2)}/1/N_2 \rightarrow \dots \rightarrow \bullet/M^{(R)}/1/N_R,$$

где: R – количество станций беспроводной сети; N_r – количество мест ожидания в r -ой станции ($r = \overline{1, R}$). Предполагается, что время на r -ой станции распределено по экспоненциальному закону с параметром μ_r , а на вход первой станции поступает марковский поток пакетов (MAP-поток), управляемый неприводимой цепью Маркова $v_t, t \geq 0$ с непрерывным временем, конечным пространством состояний $\{0, 1, \dots, W\}$ и инфинитезимальным генератором $D(1) = D_0(1) + D_1(1)$.

Задача состоит в отыскании стационарных вероятностей состояний многофазной системы, маргинальных длин очередей и времени ожидания на фазах (станциях) системы, вероятностей потери пакетов и максимального среднего времени доставки пакетов по беспроводной сети.

3. Расчет характеристик производительности беспроводной сети

Поведение MAP-потока полностью характеризуется квадратными матрицами D_0 и D_1 порядка $W+1$, элементы которых определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} (D_1)_{v,v'} &= \lambda_v p_{v,v'}^{(1)}, \quad v, v' \in \{0, \dots, W\}, \\ (D_0)_{v,v} &= -\lambda_v, \quad v \in \{0, \dots, W\}, \quad (D_1)_{v,v'} = \lambda_v p_{v,v'}^{(1)}, \\ &v, v' \in \{0, \dots, W\}, \quad v \neq v'. \end{aligned}$$

При этом матрица

$$D = D_0 + D_1$$

является инфинитезимальным генератором цепи Маркова $v_t, t \geq 0$.

Интенсивность λ поступления запросов в MAP определяется как

$$\lambda = \bar{\theta} D_1 \bar{e},$$

где $\bar{\theta}$ - вектор-строка стационарного распределения цепи Маркова $v_t, t \geq 0$. Вектор $\bar{\theta}$ является единственным решением системы линейных алгебраических уравнений

$$\bar{\theta} D = \bar{0}, \quad \bar{\theta} \bar{e} = 1.$$

Здесь и далее \bar{e} - вектор-столбец, состоящий из единиц, $\bar{0}$ - вектор-строка, состоящая из нулей.

Если запрос, поступающий на первую станцию или переходящий на r -ю, $r = 2, \dots, R$, станцию после обслуживания на $(r-1)$ -й станции, застаёт все места для ожидания занятыми, то он покидает тандем навсегда.

Процесс изменения состояний системы описывается в терминах неприводимой многомерной цепи Маркова с непрерывным временем

$$\xi_t = \{n_t^{(1)}, n_t^{(2)}, \dots, n_t^{(R)}, v_t\}, t \geq 0,$$

где $n_t^{(r)}$ - число запросов на r -й станции, $n_t^{(r)} \in \{0, \dots, N^{(r)}\}, r \in \{1, \dots, R\}; v_t$ - состояние управляющего процесса MAP-потока в момент времени $t, v_t \in \{0, \dots, W\}$.

Вектор-строка \bar{p} стационарных вероятностей состояний цепи имеет размерность

$$(W+1) \prod_{r=1}^R (N_r + 1)$$

и вычисляется как единственное решение системы линейных алгебраических уравнений

$$\bar{p} Q = \bar{0}, \quad \bar{p} \bar{e} = 1, \quad (1)$$

где матрица Q является инфинитезимальным генератором цепи Маркова

$$\xi_t, t \geq 0.$$

Далее приводится простой, точный и удобный метод вычисления маргинальных стационарных распределений вероятностей фрагментов тандема, а также всего тандема. Этот метод опирается на результаты исследования потоков, выходящих из станций тандема. Выходящие потоки принадлежат классу марковских потоков и описываются следующей теоремой.

Теорема 1. *Входящий поток на $(r+1)$ -ю станцию (выходящий поток с r -й станции),*

$r \in \{1, 2, \dots, R-1\}$, принадлежит классу MAP-потоков. Этот MAP-поток задается матрицами $D_0^{(r+1)}$ и $D_1^{(r+1)}$, которые вычисляются по следующим рекуррентным формулам:

$$D_0^{(r+1)} = -\mu_r \text{diag}\{0, 1, \dots, N_r\} \otimes I_{K_r} +$$

$$+ \begin{pmatrix} D_0^{(r)} & D_1^{(r)} & O & \dots & O & O \\ O & D_0^{(r)} & D_1^{(r)} & \dots & O & O \\ O & O & D_0^{(r)} & \dots & O & O \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ O & O & O & \dots & D_0^{(r)} & D_1^{(r)} \\ O & O & O & \dots & O & D_0^{(r)} + D_1^{(r)} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$$D_1^{(r+1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \mu_r & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2\mu_r & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (N_r - 1)\mu_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & N_r \mu_r & 0 \end{pmatrix} \otimes$$

$$\otimes I_{K_r}, r = 1, 2, \dots, R-1 \quad (3)$$

с начальным условием

$$D_0^{(1)} = D_0, \quad D_1^{(1)} = D_1.$$

Здесь O - нулевая квадратная матрица размера K_r , I_{K_r} - тождественная матрица порядка K_r ,

$K_r = (W+1) \prod_{r=1}^{r-1} (N_r + 1), r = 1, 2, \dots, R$,

\otimes - символ Кронекерова произведения матриц, $\text{diag}\{0, 1, \dots, N_r\}$ - диагональная матрица с диагональными элементами, перечисленными в скобках.

Доказательство. Пусть $r = 1$. Очевидно, что процесс $\{n_t^{(1)}, v_t\}, t \geq 1$, описывающий работу первой станции, является цепью Маркова. Перенумеруем состояние этой цепи в лексикографическом порядке, т.е. следующим образом:

$$(0, 0), (0, 1), \dots, (0, W), (1, 0), (1, 1), \dots, (1, W), \dots, (N_1, 0), (N_1, 1), \dots, (N_1, W).$$

Тогда, как легко видеть, переходы цепи, которые не приводят к завершению обслуживания на первой станции (и поступлению запроса на вторую станцию), определяются матрицей $D_0^{(2)}$, которая рассчитывается по формулам (1) и (2). Переходы цепи, ведущие к завершению обслуживания на первой станции (и прибытию запроса на вторую станцию) определяются матрицей $D_1^{(2)}$. А согласно Теореме 1 MAP-поток определяется матрицами $D_0^{(2)}$ и $D_1^{(2)}$. Дальнейшее доказательство для $r = 2, \dots, R$ осуществляется по индукции.

Замечание 1. В дальнейшем будем обозначать MAP – входящий поток на r -ю станцию как $MAP^{(r)}$, $r = 1, 2, \dots, R$. Заметим, что $MAP^{(1)}$ – это MAP-поток запросов в тандем. Выходящий поток из R -й станции будем обозначать как $MAP^{(R+1)}$. Матрицы $D_0^{(R+1)}$ и $D_1^{(R+1)}$, определяющие $MAP^{(R+1)}$, задаются формулами (2) и (3) при $r = R + 1$.

Используя результаты теоремы 1, можно рассчитать маргинальное стационарное распределение r -й станции тандема как стационарное распределение системы массового обслуживания $MAP^{(r)} / M^{(r)} / 1 / N_r$, $r = 1, 2, \dots, R$.

Функционирование системы $MAP / M / 1 / N$ описывается цепью Маркова $\eta_t = \{n_t, v_t\}$, где n_t – число занятых приборов, а v_t , $v_t \in \{0, \dots, W\}$ – состояние управляющего процесса MAP в момент времени t .

Перенумеруем состояния цепи в лексикографическом порядке. Тогда инфинитезимальный генератор этой цепи определяется как

$$A = \begin{pmatrix} D_0 & D_1 & O & \dots & O & O \\ \mu I & D_0 - \mu I & D_1 & \dots & O & O \\ O & \mu I & D_0 - \mu I & \ddots & O & O \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ O & O & O & \dots & D_0 - \mu I & D_1 \\ O & O & O & \dots & \mu I & D - \mu I \end{pmatrix}$$

Пусть \bar{q} является вектором-строкой стационарного распределения вероятностей состояний цепи. Этот вектор определяется как единствен-

ное решение системы линейных алгебраических уравнений

$$\bar{q}A = \bar{0}, \quad \bar{q}\bar{e} = 1.$$

В случае большой размерности данной системы для ее решения целесообразно использовать специальные алгоритмы. Один из них приведен ниже.

Представим вектор \bar{q} как $\bar{q} = (\bar{q}_0, \bar{q}_1, \dots, \bar{q}_N)$, где векторы \bar{q}_i , $i = 0, \dots, N$, имеют порядок $W + 1$.

Алгоритм. Векторы стационарного распределения \bar{q}_i , $i = 0, \dots, N$, вычисляются как

$$\bar{q}_l = \bar{q}_0 \Phi_l, \quad l = 1, \dots, N,$$

где матрицы Φ_l вычисляются рекуррентно по формулам:

$$\Phi_0 = I, \quad \Phi_i = \Phi_{i-1} D_1 (\mu I - D_0 - (1 - \delta_{i,N}) D_1 G_i)^{-1},$$

$$i = 1, \dots, N,$$

а матрицы G_i , $i = 0, \dots, N - 1$, вычисляются с помощью обратной рекурсии

$$G_i = \mu [\mu I - D_0 - D_1 G_{i+1}]^{-1}, \quad i = N - 2, N - 3, \dots, 0,$$

при начальном условии

$$G_{N-1} = \mu (\mu I - D)^{-1},$$

вектор \bar{q}_0 является единственным решением системы линейных алгебраических уравнений:

$$\bar{q}_0 (D_0 + D_1 G_0) = \bar{0}, \quad \bar{q}_0 \sum_{i=0}^N \Phi_i \bar{e} = 1.$$

Далее представим метод расчета стационарного распределения тандема и его фрагментов на основе результатов исследования выходящих потоков, представленных в теореме 1.

Пусть $\langle r, r + 1, \dots, r' \rangle$ обозначает фрагмент тандема, состоящий из r -й, $(r + 1)$ -й, ..., r' -й станций, $1 \leq r \leq r' \leq R$.

Теорема 2. Стационарное распределение фрагмента $\langle r, r + 1, \dots, r' \rangle$ тандема может быть рассчитано как стационарное распределение тандема

$$MAP^{(r)} / M^{(r)} / 1 / N_r \rightarrow \bullet / M^{(r+1)} / 1 / N_{r+1} \rightarrow \dots$$

$$\rightarrow \bullet / M^{(r')} / 1 / N_{r'},$$

где $MAP^{(r)}$ определяется по формулам (2)-(3).

Следствие 1. *Маргинальное стационарное распределение r -й станции тандема вычисляется как стационарное распределение системы массового обслуживания $MAP^{(r)} / M^{(r)} / 1 / N_r$, $r = 1, 2, \dots, R$.*

Заметим, что каждое из маргинальных распределений может быть вычислено с использованием алгоритмов, представленных в предыдущем разделе.

Теорема 3. *Совместное стационарное распределение $\vec{p}^{(1, \dots, r)}$ вероятностей состояний первых r станций тандема может быть рассчитано как стационарное распределение управляющего процесса $MAP^{(r+1)}$, т.е. имеет место формула*

$$\vec{p}^{(1, \dots, r)} = \vec{\theta}^{(r+1)},$$

где вектор $\vec{\theta}^{(r+1)}$ - единственное решение системы

$$\vec{\theta}^{(r+1)}(D_0^{(r+1)} + D_1^{(r+1)}) = \vec{0}, \quad \vec{\theta}^{(r+1)}\vec{e} = 1, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

а матрицы $D_0^{(r+1)}$, $D_1^{(r+1)}$ вычисляются по формулам (2) и (3).

Решение системы находится с помощью устойчивого алгоритма, предложенного в [7].

Следствие 2. *Вектор стационарного распределения тандема вычисляется как единственное решение системы линейных алгебраических уравнений*

$$\vec{p}(D_0^{(R+1)} + D_1^{(R+1)}) = \vec{0}, \quad \vec{p}\vec{e} = 1. \quad (4)$$

С помощью стационарного распределения состояний тандема получены характеристики производительности тандема, в том числе среднее время пребывания заявки в узле тандема и времени доставки пакетов по беспроводной сети в целом.

Ниже приведены результаты численного расчета при следующих упрощающих предположениях. Пусть плотность распределения длин пакетов $f(x) = be^{-bx}$, где $1/b$ – средняя длина пакета (байт). Тогда функция распределения длительности обслуживания на каждой фазе сети является экспоненциальной с параметром $\mu = Zb$ (Z – пропускная способность каждой фазы сети, измеренная в бит/с). На Рис. 5 представлена зависимость максимального времени доставки пакетов от интенсивности входного потока λ в предположении, что производительность беспроводных каналов на всех фазах одинакова и равна $Z=54$ Мбит/с или $Z=300$ Мбит/с, средняя длина пакета $1/b=1400$ байт и количество фаз $R=3$.

4. Применение в интеллектуальных транспортных системах

Разработанные аппаратно-программные средства могут быть эффективно использованы не только для повышения вероятности обнаружения и пресечения нарушений ПДД, но и во многих других направлениях построения интеллектуальных транспортных систем (Рис. 6).

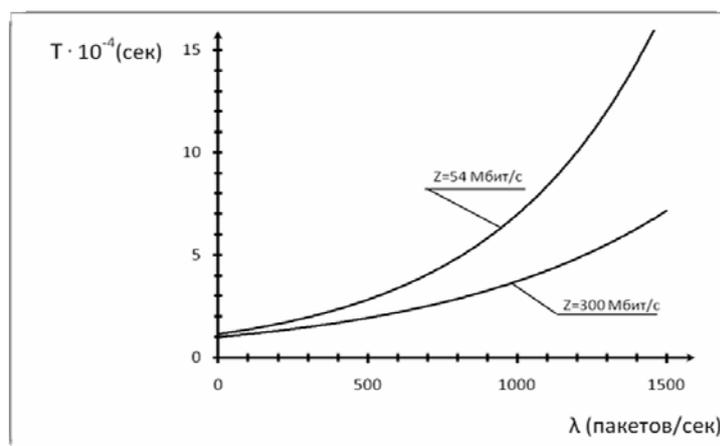


Рис.5. Зависимость максимальной задержки от потока пакетов λ при пропускной способности беспроводного канала $Z= 54$ Мбит/с и $Z=300$ Мбит/с



Рис. 6. Применение единой аппаратной платформы при реализации интеллектуальных транспортных систем

На Рис. 6 под номером 2 отмечено применение RFID-технологий при создании интеллектуальных систем управления трафиком на перекрестке. Для определения реального объема трафика ТС в каждом направлении перед перекрестком на определенном расстоянии (порядка 200м) устанавливаются два устройства, каждое из которых включает RFID-считыватель и радиомаршрутизатор беспроводной связи. Таким образом, идентифицируются все ТС, находящиеся в очереди перед перекрестком. Указанная информация передается в Центр управления, который управляет переключениями светофоров на перекрестке, включая зеленый свет в направлении, где обнаружен максимальный трафик. Указанный подход позволяет в приоритетном порядке осуществлять пропуск на перекрестке машин скорой помощи, пожарных машин и т.д.

На Рис. 6 под номером 3 отмечено применение RFID-технологии для контроля нарушений средней скорости на протяженном участке автодороги.

Водители ТС обычно снижают скорость при подъезде к стационарному пункту контроля скорости и затем сразу увеличивают ее после проезда этого пункта. Такие нарушения особенно опасны при прохождении трассы через населенный пункт. С целью фиксации нарушений средней скорости в двух пунктах автодороги, например, в начале и конце населенного пункта, через который проходит трасса, устанавливается оборудование, включающее RFID-считыватель, фото (видеофиксация) и маршрутизатор беспроводной или проводной сети. Оборудование устанавливается на расстоянии $S=2-5$ км в пределах прямой видимости с целью использования беспроводной технологии для обмена информацией. Наличие 2-х пунктов контроля обеспечивает возможность измерения времени t проезда по участку пути и, соответственно, определение средней скорости $\bar{V} = S/t$. Заметим, что применение RFID-технологии, как и в других случаях, позволяет выявлять нарушителей ПДД в любых погодных условиях.

Под номером 4 на Рис. 6 обозначена возможность использования RFID-технологии в автоматизированной системе выявления нарушений правил стоянки и остановки транспортных средств. В настоящее время для выявления нарушений парковки начали широко использовать оборудование, включающее две телекамеры (широкоугольный, для записи дорожной обстановки и длиннофокусный, для распознавания номеров ТС), встроенный светодиодный прожектор для работы в темное время суток, сенсорный ЖК-дисплей, навигационный модуль (ГЛОНАС/GPS) и т.д. Примером такого оборудования может служить комплекс «ПАРКОН», разработанный ООО «СИМИКОН» - одним из ведущих в РФ производителей аппаратуры видеofиксации нарушений ПДД.

Однако используемая в настоящее время технология выявления нарушений парковки ТС имеет один существенный недостаток. Фотографии ТС, направленные владельцу ТС, содержат лишь информацию о времени предполагаемого нарушения и географические координаты участка, полученные с помощью модуля ГЛОНАС/GPS, установленного на патрульной автомашине. По данным фотографиям невозможно определить нахождение ТС непосредственно в границах запрещенной зоны.

Решение этой проблемы возможно путем совместной работы технологий видеofиксации и радиочастотной идентификации. В этом случае аппаратура «ПАРКОН» дополняется RFID-считывателем, обеспечивающим считывание уникальных идентификаторов RFID-меток, расположенных на дорожных знаках начала и конца зоны, запрещенной для парковки. Фотография, сделанная в интервале времени между последовательным считыванием двух пограничных RFID-меток, свидетельствует о том, что

ТС в данный промежуток времени находилось в запрещенной зоне.

Под номером 5 и 6 на Рис. 6 показано использование технологии радиочастотной идентификации в системах контроля въезда на платные дороги и стоянки и логистика перемещений ТС и грузов. Указанные системы широко используются за рубежом, начинается их применение и в РФ.

В заключение отметим, что разработка и внедрение предлагаемых систем обеспечит значительное повышение вероятности обнаружения и пресечения нарушений ПДД, повышение эффективности борьбы с поддельными номерными знаками, ускорение поиска угнанных автомобилей и оптимизацию управления трафиком ТС.

Литература

1. Минниханов Р.Н. (общая редакция) Опыт применения систем видеofиксации нарушений правил дорожного движения (на примере Республики Татарстан). – Казань: ГУ «НЦ БЖД», 2009. – 128 с.
2. В.М.Вишневский, Р.Н.Минниханов. Автоматизированная система безопасности на автодорогах с использованием RFID-технологий и новейших беспроводных средств. Проблемы информатики. 2012. № 1. с. 52-65.
3. Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович С.Л. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G – М.: Техносфера, 2010. – 471 с.
4. Вишневский В.М., Минниханов Р.Н. Патент № 99207 от 10.11.2010 «Автоматизированная система контроля нарушений ПДД на базе широкополосных беспроводных сетей и RFID-технологии».
5. Balsamo S., Persone V.D.N., Inverardi P. A review on queueing network models with finite capacity queues for software architectures performance prediction // Performance Evaluation. 2003. Vol. 51. P. 269-288.
6. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003, –480 с.
7. Klimenok V., Kim C.S., Orlovsky D., Dudin A. Lack of invariant property of Erlang loss model in case of the MAP input // Queueing Systems. 2005. Vol. 49. P. 187-213.

Вишневский Владимир Миронович. Генеральный директор Научно-производственной фирмы «Информационные и сетевые технологии». Доктор технических наук, профессор МФТИ. Автор более 300 научных работ, включая 7 монографий.

Минниханов Рифкат Нургалиевич. Главный государственный инспектор безопасности дорожного движения Республики Татарстан. Доктор технических наук, профессор. Автор более 70 научных работ.

Дудин Александр Николаевич. Заведующий лабораторией Белорусского государственного университета. Доктор физико-математических наук, профессор. Автор более 300 научных работ.

Клименок Валентина Ивановна. Главный научный сотрудник Белорусского государственного университета. Доктор физико-математических наук, профессор. Автор более 250 научных работ.

Ларионов Андрей Алексеевич. Старший научный сотрудник Научно-производственной фирмы «Информационные и сетевые технологии». Автор 10 научных работ.

Семенова Ольга Валерьевна. Старший научный сотрудник Научно-производственной фирмы «Информационные и сетевые технологии». Кандидат физико-математических наук. Автор 35 научных работ, включая 2 монографии.