

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОТОКОВ ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНОГО ТРАФИКА В СЕТЯХ VANET

С.В. Ярцев¹, Е.А. Кучерявый², А.Г. Владыко¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
имени профессора М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Проведен анализ принципов формирования потоков сообщений в децентрализованной самоорганизующейся автомобильной сети. Аналитическое описание процесса формирования суммарного потока выполнено на основе теоремы Бёрка. Рассмотрен вариант описания параметра потока на основе теории просеянных потоков. Оценка справедливости суждений о структуре суммарного потока в сети и принципов его формирования произведена посредством имитационного моделирования на основе среды NS-2. Разработанные на языке Perl скрипты обработки выходной статистики позволили выполнить оценку принадлежности потока распределению Пуассона при низкой плотности транспортных средств и гамма-распределению при высокой. Вследствие высокой интенсивности поступления требований о передаче сообщений происходит перегрузка сетевого ресурса, что приводит к резкой деградации функционала системы безопасности дорожного движения. На основе результатов оценки полезной загрузки канала удалось сформировать предложения к режиму ретрансляции сообщений с целью повышения эффективности использования сетевого ресурса.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, автомобильные сети, VANET, DSRC, WAVE, система массового обслуживания.

Ссылка при цитировании: Ярцев С.В., Кучерявый Е.А., Владыко А.Г. Исследование структуры потоков широковещательного трафика в сетях VANET // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2018. Т. 11. № 3. С. 7–19. DOI: 10.18721/JCSTCS.11301

STUDY OF BROADCASTING FLOW STRUCTURE IN VANET

S.V. Yartsev¹, Ye.A. Kucheryavy², A.G. Vladyko¹

¹Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, Russian Federation;

²National Research University Higher School of Economics, St. Petersburg, Russian Federation

The paper provides analysis of message flow formation in a decentralized self-organizing vehicular network. An analytical description of the aggregated flow formation is carried out based on Burke's theorem. A variant of flow parameter description based on the sieved stream theory is presented. Next, the aggregated flow structure in the network and the principles of its formation are evaluated using the NS-2 tool. Using customized Perl scripts developed for analysis of output statistics, we have established that the aggregated flow has a Poisson distribution for low vehicle density and a Gamma distribution for high vehicle density. As a consequence of high intensity of messages in the system, the network resource becomes overloaded, which leads to degradation of the functionality of the road safety system as a whole. Based on estimations of the useful channel load, a novel message retransmission protocol was proposed to increase the efficiency of network resource utilization.

Keywords: intelligent transport system, vehicular networks, vehicular Ad-Hoc network, dedicated short-range communication, wireless access in vehicle environment, queuing system.

Citation: Yartsev S.V., Kucheryavy Ye.A., Vlydyko A.G. Study of broadcasting flow structure in VANET. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2018, Vol. 11, No. 3, Pp. 7–19. DOI: 10.18721/JCSTCS.11301

Введение

Постоянный прирост автопарка в развивающихся странах привлекает пристальное внимание к проблемам обеспечения безопасности дорожного движения и управления транспортными потоками. В связи с этим интеллектуальные транспортные системы (ИТС) получили широкое распространение как объект многочисленных исследований. Сети VANET являются частью концепции ИТС и предназначены для организации межмашинного информационного обмена. Они представляют собой качественно новый шаг в сфере автомобилестроения и информационных технологий¹.

VANET – представитель Ad-Hoc сетей с динамично меняющейся структурой, где узлами сети являются транспортные средства со специализированными модулями связи. Исследование процесса формирования данного типа сетей и образуемого при этом потока информационных сообщений по-прежнему актуально, не смотря на то, что данным вопросам посвящены сотни

исследований на протяжении последнего десятилетия.

Ключевые проблемы

Задача информационного обмена – своевременное оповещение находящихся поблизости участников дорожного движения об опасных ситуациях. При этом термин «своевременно» указывает на необходимость соблюдения требований к задержкам при передаче сообщений через сеть. Данная задача подразумевает необходимость решения сложного вопроса поддержания постоянной взаимосвязи между узлами сети, обеспечивая при этом возможность передачи трафика приложений безопасности с минимальной задержкой².

Одной из основных причин задержек в сетях, использующих технологию CSMA/CA, является задержка, формируемая на канальном уровне (MAC)³. Данная задержка обусловлена временем, затрачиваемым

¹ ETSI // Intelligent Transport Systems. Vehicular Communications. Basic Set of Applications. Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service, Technical Specification (302 637-2) V1.3.2. 2014.

² IEEE P1609.0/D9-2017 // IEEE Draft Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Architecture. 2017. Pp. 1–104.

³ IEEE Std 802.11-2016 // IEEE Standard for Information technology. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Revision of IEEE Std 802.11-2012. 2016. Pp. 1–3534.

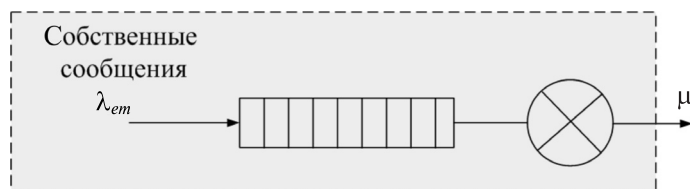


Рис. 1. Схема одиночного узла

Fig. 1. Single node model

на поиск и захват канального ресурса с целью передачи данных. Нетрудно понять, что с ростом численности передающих узлов коэффициент использования канала будет расти. Как следствие, поступающие на обслуживание сообщения будут попадать в очередь до тех пор, пока по истечении таймера отсрочки не появится свободный ресурс для передачи. Таким образом, идеальной ситуацией для надежного функционирования системы обеспечения безопасности на основе VANET является поддержание статистического равновесия, когда количество поступающих заявок в сеть уравнивается производительностью сети.

В этой статье мы проводим анализ режимов функционирования сети VANET в условиях городской среды. Основная цель – получение представления о способе образования и виде распределения входного потока сообщений, создаваемого группой узлов различной плотности. Понимание данной характеристики крайне важно для планирования системы в целом, поскольку на его основе можно делать предположения о требуемых размерах буферов на узлах и критичных плотностях размещения узлов, при которых работоспособность системы подвержена серьезным трудностям.

Модель узла

В VANET каждое транспортное средство является узлом, оповещающим соседние узлы о собственном состоянии. Данный процесс организуется трансляцией в сеть широкоэмиттерных сообщений, что обеспечивает информирование всех узлов, находящихся в зоне возможности успешного приема радиосигнала. Таким образом, в случае отсутствия механизмов многоша-

говой ретрансляции сообщений, каждый узел сети может быть представлен в виде простейшей одноканальной модели СМО D/G/1 с детерминированным входным потоком и дисциплиной обслуживания FIFO (FirstIn, FirstOut) (рис. 1).

Входным потоком для такой системы является поток собственных сообщений с интенсивностью десять сообщений в секунду [8]. Если канал свободен, сообщения сразу же обслуживаются и транслируются в сеть. Иначе применяется механизм отсрочки передачи с установкой случайного значения таймера. По истечении таймера попытка передачи повторяется. Стоит отметить, что указанный механизм отсрочки приводит к формированию на выходе узла простейшего потока.

Далее следует учесть, что в основе сети VANET лежит стандарт IEEE 802.11p, использующий технологию множественного доступа с контролем несущей и избеганием коллизий (CSMA/CA). Особенность данной технологии – совместное использование разделяемой среды передачи. Это говорит о том, что выходы всех узлов «соединены» вместе, что приводит к объединению выходных потоков ото всех узлов, находящихся в зоне радиовидимости $\{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N\}$ в общий поток μ_{Σ} (рис. 2).

Как показывают исследования, достигнуть дистанции, требуемой для успешной работы системы обеспечения безопасности дорожного движения, можно либо за счет увеличения мощности передатчика [1, 2], либо за счет последовательной ретрансляции сообщений через соседние узлы. Первый способ вполне применим для случая использования вне населенных пунктов [3]. В городах ситуация обстоит несколько иначе, поскольку плотность транспортных

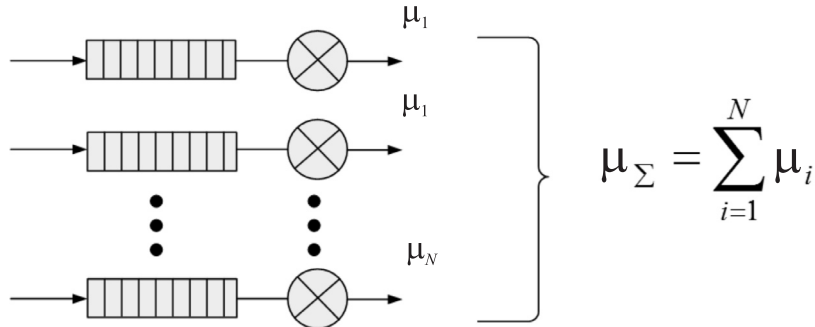


Рис. 2. Сеть VANET как СМО

Fig. 2. VANET as queueing system

средств на дорогах значительно выше и, как следствие, количество требований на использование среды передачи многократно возрастает [4]. В совокупности с большой мощностью радиосигнала от каждого узла, это привело бы к полной деградации работоспособности системы в целом. Очевидно, что необходимо применять другой подход к обеспечению требуемой зоны информирования, такой как последовательная ретрансляция сообщений. Причем допустимое количество ретрансляций должно быть строго ограничено в целях избегания ситуации широковещательного шторма.

Применение подхода с многошаговой ретрансляцией влечет за собой рост нагрузки на сеть. Это обусловлено необходимостью обработки сообщений, генерируемых соседями, с последующей ретрансляцией их в сеть.

Подобный подход позволяет решить проблему необходимости распространения информационных сообщений на требуемое расстояние, но приводит к появле-

нию на входе каждого узла второго потока сообщений. Данный поток формируется узлами соседями (см. рис. 2) и равняется $\lambda_{\Sigma} = \mu_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N-1} \mu_i$, где N – количество узлов в зоне успешного приема радиосигнала (радиовидимости). Таким образом, схема узла с точки зрения элемента сети преобразуется к виду, приведенному на рис. 3.

Решение оптимизационной задачи минимизации избыточного широковещательного трафика, образованного потоком дублированных пакетов, потребовало применения специализированных алгоритмов, позволяющих организовать ретрансляцию сообщений не всеми узлами, а только теми, сообщения на которых обладают определенным признаком. В частности, принятие решения о необходимости дальнейшей ретрансляции производится на основе оценки значения SINR (Signal-to-Interference-plus-NoiseRatio) в момент приема каждого из пакетов. В зависимости от значения SINR для каждого пакета вычисляется время ожидания до момента предпринятия по-

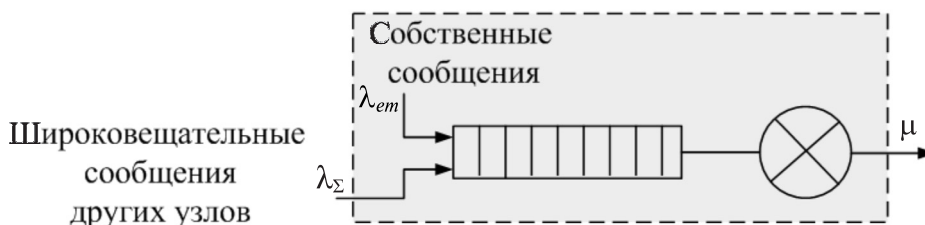


Рис. 3. Схема узла сети с многошаговой ретрансляцией сообщений

Fig. 3. Network node model with multi-hop message dissemination

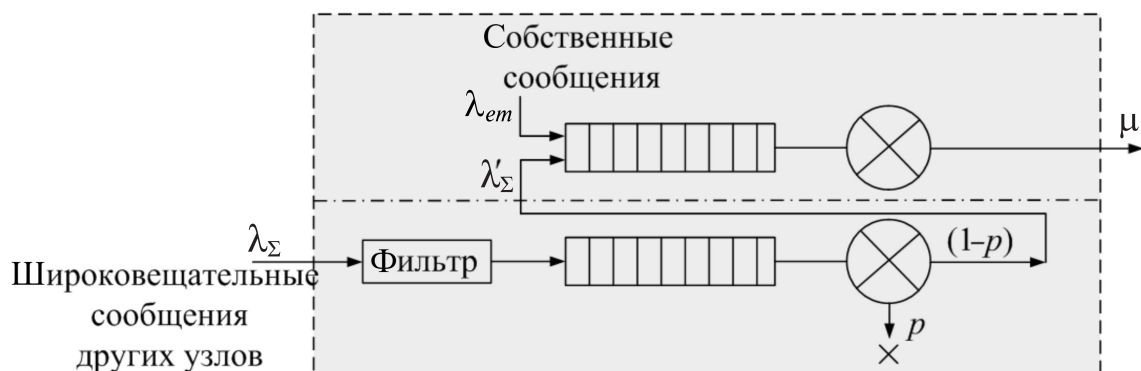


Рис. 4. Схема узла сети с многошаговой ретрансляцией сообщений и применением алгоритмов фильтрации

Fig. 4. Network node model with multi-hop message dissemination and filtering algorithms

пытки ретрансляции. Если в течение этого интервала времени принимается дублирующий пакет, то дальнейшая ретрансляция не производится, в противном случае по истечении таймера пакет отправляется на передачу.

При подобном подходе к регулированию потока сообщений суммарный входной поток, формируемый узлами в зоне успешного приема радиосигнала, можно представить как некоторый поток, подверженный фильтрации и просеиванию. После данной предварительной обработки он поступает в основную очередь обслуживания. Таким образом, схему узла сети можно привести к виду, показанному на рис. 4.

Здесь видно, что на вход основной СМО поступает два потока: поток собственных сообщений λ_{em} и поток сообщений от узлов, в зоне действия радиосигнала которых находится данный узел λ_{Σ} . Впоследствии поток λ_{Σ} проходит некоторую предварительную обработку, в результате которой часть сообщений с $TTL = TTL_{max}$ (TimeToLive) отфильтровывается сразу. Оставшаяся часть поступает в буфер промежуточной системы принятия решений о ретрансляции, работа которого представлена в виде СМО с просеиванием. В данной системе сообщение отбрасывается с вероятностью p и с вероятностью $(1-p)$ просеивается на выход системы, формируя поток λ'_{Σ} , поступающий на вход основной СМО для дальнейшей передачи в сеть.

Описание сети

Рассмотрев основные принципы организации и структуру системы оповещения о нештатных ситуациях, важно произвести анализ вероятностных распределений потоков сообщений на входе и выходе узлов сети для оценки ее функциональных возможностей.

Пусть имеется некоторый участок городской дорожной сети. Будем считать, что на данном участке движутся транспортные средства (e_1, \dots, e_K) , где K – количество транспортных средств (узлов). Каждый узел транслирует в сеть информационные сообщения приложений, связанных с безопасностью дорожного движения, с установленной периодичностью, создавая потоки $\{Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_K(t)\}$. Как было показано ранее, интенсивность потока на входе узла e_j от N узлов, находящихся в зоне радиовидимости, будет складываться из собственного потока и результирующего потока от соседних узлов. Таким образом, можно записать:

$$Y_{\Sigma}(t) = Y_i(t) + \sum_{j=1}^N Y_j(t), j \neq i, N \in K. \quad (1)$$

Далее предположим, что на выходе каждого узла действует простейший поток. Рассмотрим принцип формирования потока для исследуемой сети с учетом сделанного предположения. Каждый узел сети формирует собственный поток независимо от других узлов. Таким образом, имеем ряд независимых потоков, моменты появления

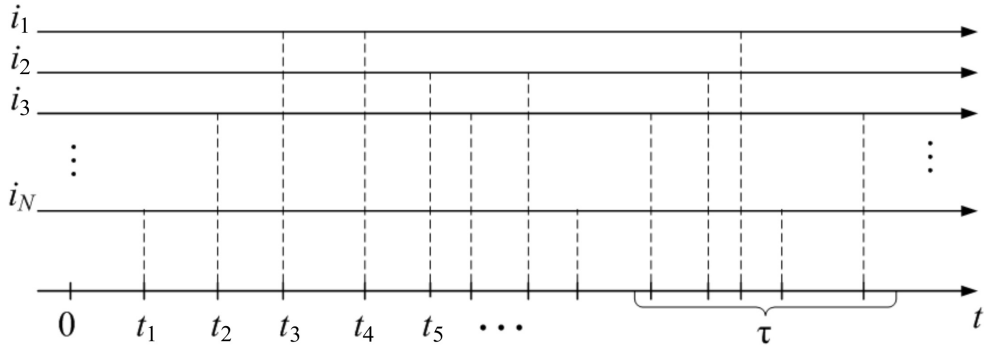


Рис. 5. Формирование суммарного потока от узлов сети

Fig. 5. The process of summary flow formation from the network nodes

сообщений в котором сводятся на одну временную ось в виду использования общей среды передачи (рис. 5).

Как известно, суммирование некоторого количества простейших потоков приводит к формированию на выходе потока с распределением по закону Пуассона. Это хорошо известное распределение позволяет оценить вероятность прихода m сообщений за временной интервал τ :

$$P_m(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^m}{m!} e^{-\lambda\tau}. \quad (2)$$

Моделирование исследуемого участка дорожной сети в среде NS-2 (Network Simulator версия 2) показало, что суммарный поток в исследуемой сети без применения специализированных алгоритмов прореживания и с ограничением по $TTL_{\max} = 1$ распределен по закону Пуассона (рис. 6). В качестве основных параметров моделирования были установлены:

- полоса пропускания 3 Мбит/с;
- модель радиоканала Nakagami-m ($m=7$);
- мощность передатчика 7,24 дБм;

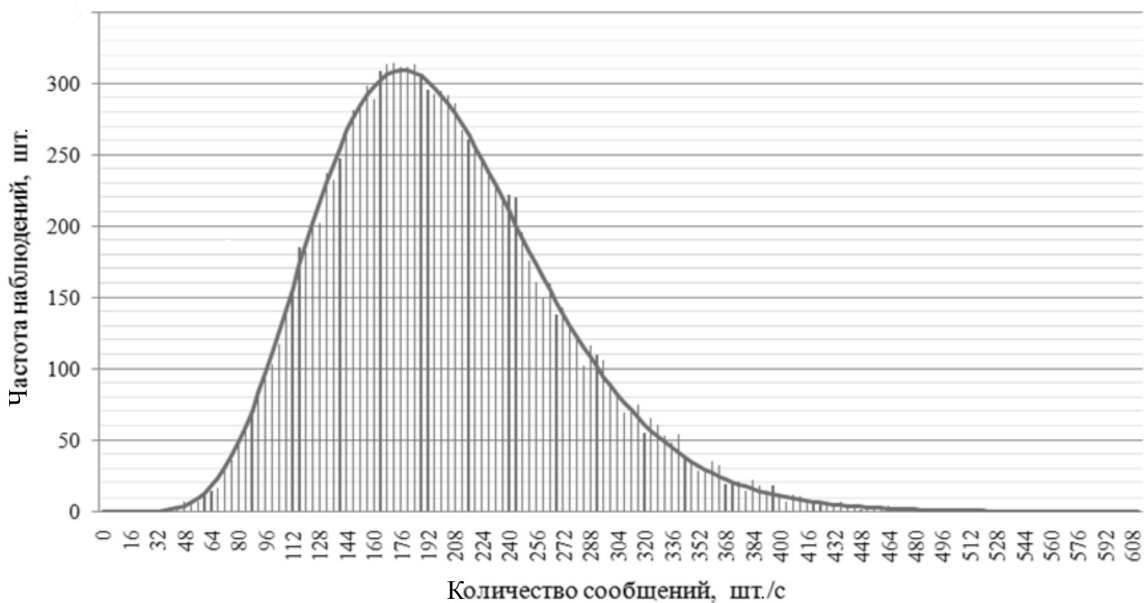


Рис. 6. Распределение числа сообщений на выходе узлов при простой широковещательной рассылке сообщений

Fig. 6. The distribution of the number of messages at the output of nodes with a simple broadcasting

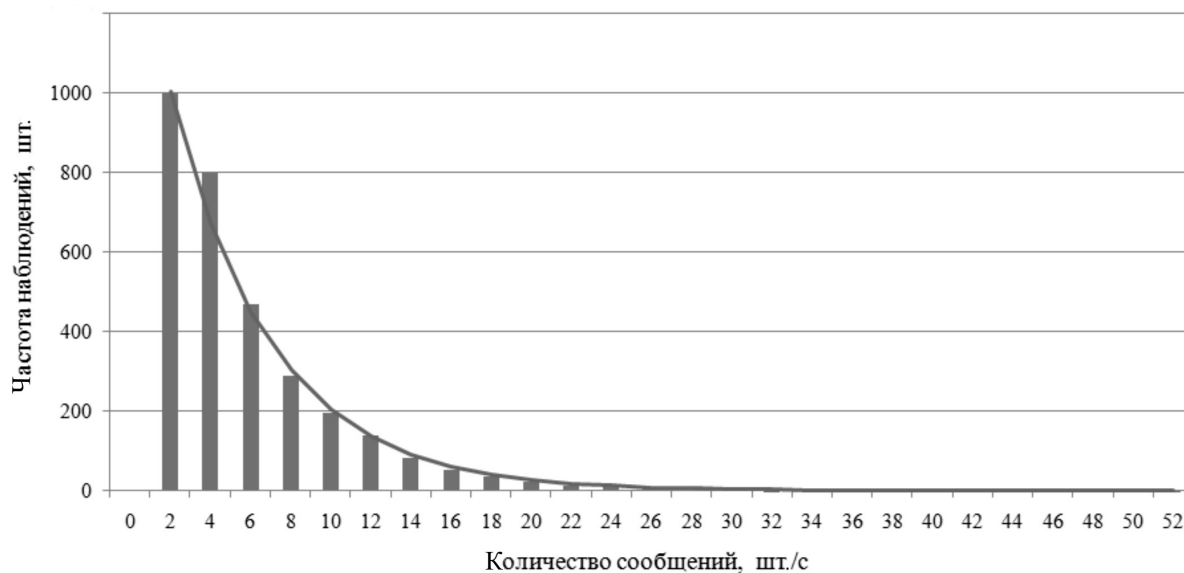


Рис. 7. Распределение числа сообщений на входе основной СМО

Fig. 7. The distribution of the number of messages at the input of the main QS

тип антенны — ненаправленная;
 тип трафика — с постоянной битовой скоростью (CBR);
 размер пакета 250 байт.

Как видно из графика, представленного на рис. 6, суммарный выходной поток, изображенный в виде столбчатой диаграммы, хорошо аппроксимируется теоретическим распределением Пуассона (сплошная линия), что подтверждается сравнением по критерию согласия Пирсона с уровнем значимости 0,05. Пуассоновский тип потока на выходе системы говорит о справедливости сделанного предположения о действии простейшего потока на выходах узлов. Следовательно, в случае сетевого взаимодействия в стационарном режиме, когда количество коллизий является постоянной величиной, каждый узел сети может быть представлен системой типа М/М/1.

С ростом плотности узлов, из-за применения режима многошаговых ретрансляций, суммарный поток возрастает многократно. В связи с этим возникает необходимость введения дополнительных алгоритмов просеивания потока, ограничивающих процесс ретрансляции дублирующих сообщений. Кроме этого, с целью ограничения зоны распространения широкоэвещательной ин-

формации необходимо применить ограничение времени жизни пакетов $TTL_{\max} = 3$. Данное ограничение позволяет достичь радиуса зоны информирования, перекрывающей протяженность кварталов в наиболее загруженных городских районах.

С учетом предложенного ранее алгоритма принятия решений о ретрансляции [5], необходимо более детально рассмотреть модифицированную под него схему узла (см. рис. 4).

Как было описано ранее, суммарный поток поступает на входы всех узлов, где с учетом приведенной на рис. 4 структуры проходит фильтрацию по $TTL_{\max} = 3$. Данная фильтрация представляет собой стохастический процесс прореживания исходного простейшего потока. Как нам известно из учебного пособия⁴, в данном случае на выходе фильтра мы получим все тот же простейший поток. При этом стоит также учесть, что фильтрация не подразумевает использование обслуживающего прибора

⁴ **Вентцель Е.С., Овчаров Е.С.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: Учеб. пособие для студентов вузов. 5-е изд. М.: КНОРУС, 2016. 448 с.

основной СМО в структуре узла. Поэтому с точки зрения нагрузки на основной обслуживающий прибор, данный поток не оказывает никакого воздействия. Как результат, больший интерес представляет поток после прохождения фильтра. Его исследования показали, что данный поток является простейшим и подчиняется показательному распределению (рис. 7).

Далее фильтрованный поток поступает на вход некой промежуточной СМО, которая в соответствии с определенным стохастическим алгоритмом либо отбрасывает сообщение, либо передает в основную очередь на обслуживание. Подобный процесс обработки называется просеиванием входящего потока [6–8]. Анализ систем методом просеянного потока позволяет получить представление о характеристиках потока, поступающего в основную очередь обслуживания.

Рассмотрим процесс обслуживания потока сообщений узлом i нашей сети. Для этого изобразим две временных оси, на первой из которых отметим моменты поступления сообщений входящего потока (рис. 8). На вторую ось проецируется просеянный поток сообщений.

Зафиксируем некоторый момент времени T . Сообщения, поступившие в систему на промежутке времени $t_0 < t < T$, с вероятностью $S(t)$ будут переданы для дальнейшего обслуживания в основную очередь узла. Обозначим через $S_0(t)$ вероятность того, что сообщение не будет просеяно и на момент времени T прекратит свое обслуживание в системе. Очевидно, что для любого $t < T$ справедливо равенство:

$$S_0(t) = 1 - S(t). \quad (3)$$

Учитывая, что входящий поток, как было

показано ранее, является простейшим с параметром $\lambda(t)$, то просеянный поток будет также простейшим и иметь показательное распределение с параметром:

$$\lambda_1(t) = \lambda(t)S(T - t_0). \quad (4)$$

Попадая в основную очередь обслуживания, данный поток суммируется с потоком собственных сообщений, формируя общий поток с параметром:

$$\lambda_\Sigma(t) = \lambda_{em}(t) + \lambda(t)S(T - t_0). \quad (5)$$

Общее распределение числа заявок при суммировании просеянного потока с детерминированным потоком собственных сообщений остается неизменным, следовательно, поток, поступающий в основную очередь узла, является пуассоновским с параметром:

$$\Lambda_\Sigma(0, T) = \int_0^T (\lambda_{em}(t) + \lambda(t)S(T - x)) dx. \quad (6)$$

Нетрудно понять, что с учетом оптимизационной задачи и того, что $\lambda_\Sigma \gg \lambda_{em}$, основное влияние на загрузку узла будет оказывать суммарный входящий поток от соседних узлов. Таким образом, применение различных механизмов его фильтрации, задающее вероятность просеивания потока $S(t)$, будет основополагающим фактором, влияющим на загрузку буфера.

Поскольку входящий поток в основную очередь узла является пуассоновским, мы можем применить теорему Бёрка, согласно которой в стационарном режиме промежутки времени между уходящими требованиями в системе М/М/1 распределены по показательному закону, так же как и промежутки между входящими требованиями, причем с одним и тем же параметром λ , определенным в (6).

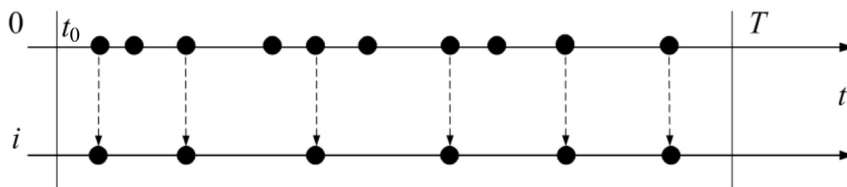


Рис. 8. Просеивание входного потока механизмом фильтрации

Fig. 8. Filtering of the input flow mechanism

Важное условие применения такого подхода – стационарный режим работы системы, когда вероятность $P_k(t)$ того, что длина очереди равна k не зависит от t . Как нам известно из теории очередей, стационарный режим устанавливается при соблюдении условия $\lambda < \mu$, то есть когда коэффициент использования системы определяется как $\rho = \lambda / \mu < 1$. При этом вероятность $P_k(t)$ определяется формулой:

$$P_k(t) = \rho^k (1 - \rho), k \geq 1. \quad (7)$$

С выхода первого узла поток сообщений попадает на вход следующей системы обслуживания, где подвергается той же самой обработке, что и на первом узле. За счет становления стационарного состояния на последующих узлах процесс обслуживания повторяется, пока у сообщения не истечет TTL , и не прекратится его дальнейшая ретрансляция.

Анализ статистики, полученной в ходе моделирования сети VANET с работающим алгоритмом фильтрации широковещательного трафика, подтвердил принадлежность суммарного выходного потока распределению Пуассона (рис. 9, сплошная линия) с уровнем значимости 0,05 по критерию

Пирсона.

Важная особенность сетей на основе технологии CSMA/CA – волатильность дисциплины обслуживания в зависимости от загрузки системы в целом. Добавление условия необходимости ретрансляции сообщений на 3 hop приводит к повышению загрузки канала трафиком от узлов зоны расширения кластера информационного обмена. С ростом количества узлов, находящихся в зоне данного кластера, возрастает объем суммарного трафика. Это приводит к увеличению вероятности возникновения коллизий и повторных срабатываний таймера отсрочки. Все эти факторы приводят к выходу системы из стационарного режима, что значительно усложняет процесс ее анализа.

Исследование сети с применением алгоритма фильтрации показало, что с ростом числа активных узлов и, соответственно, загрузки канала, суммарный выходной поток приобретает вид гамма-распределения (рис. 10).

Таким образом, мы получили результат, говорящий о том, что суммарный поток имеет распределение, описываемое функцией:

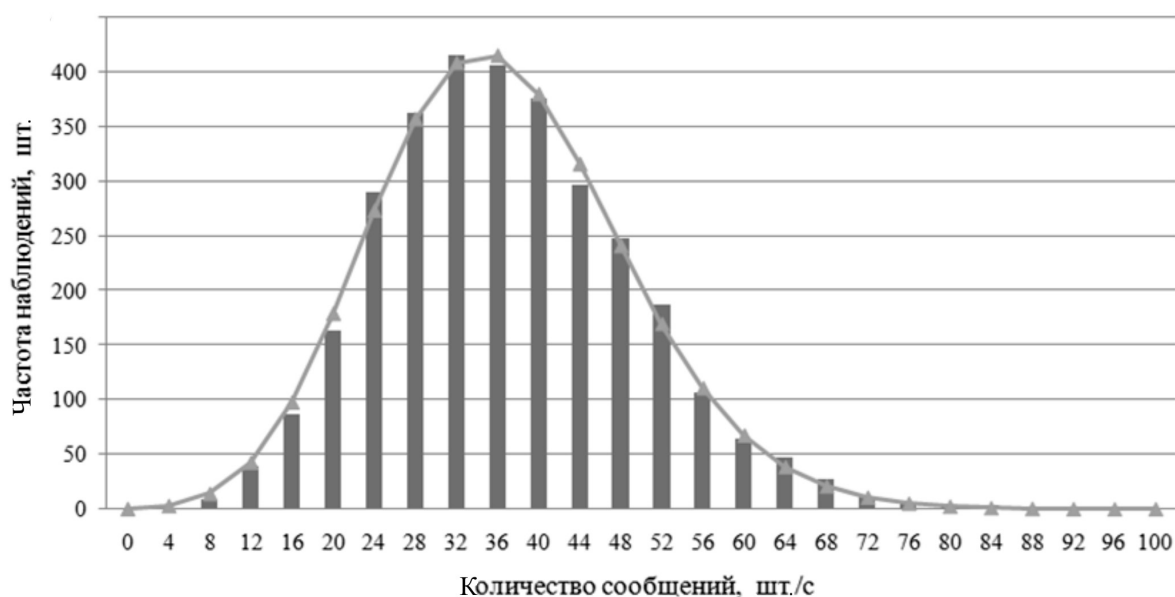


Рис. 9. Распределение числа сообщений при использовании алгоритма фильтрации

Fig. 9. The distribution of the number of messages in the case of applying filtering algorithm

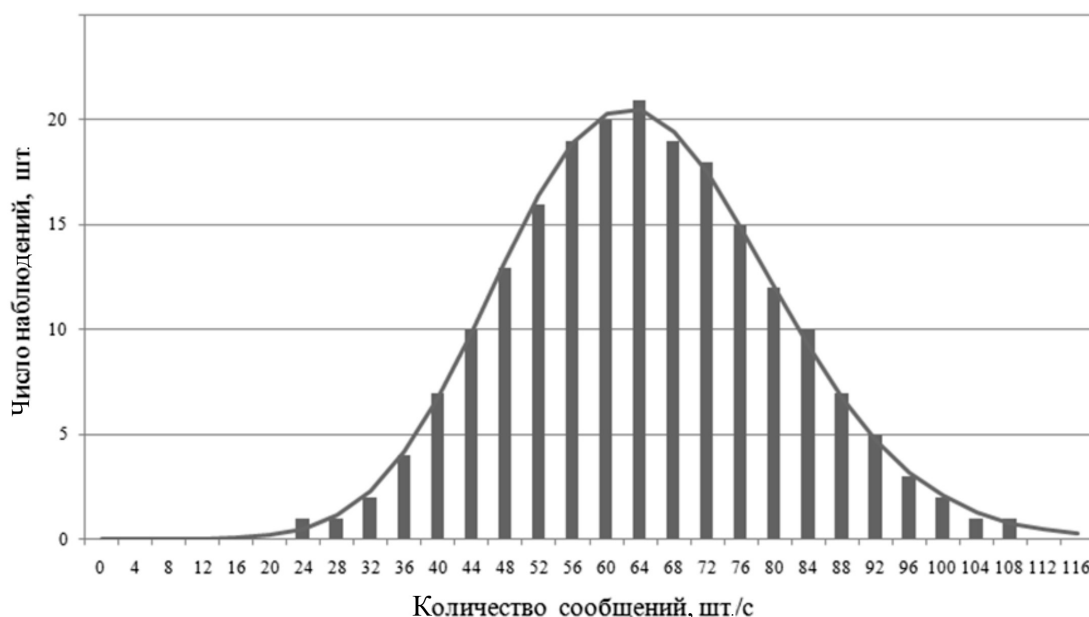


Рис. 10. Распределение числа сообщений на выходе узлов в случае применения алгоритма фильтрации

Fig. 10. The distribution of the number of messages at the output of nodes in the case of applying the filtering algorithm

$$P(x) = \begin{cases} \frac{\lambda[\lambda(x - \mu)]^{\nu-1}}{\Gamma(\nu)} e^{-\lambda(x-\mu)}, \forall x \in [0, \infty) \\ 0, \forall x < 0 \end{cases}, (8)$$

где $\Gamma(\nu)$ – гамма-функция Эйлера; ν – параметр формы; x – интенсивность потока сообщений.

Как показали исследования в области влияния количества активных узлов в зоне слышимости сигнала, для описанного ранее сценария с ограничением ретранслирующих узлов максимальная производительность системы достигается при количестве узлов от 45 до 50 (рис. 11). Дальнейший рост числа узлов и требований на обслуживание приводит к резкому падению производительности сети. Этот эффект проявляется вследствие непроизводительного использования временных ресурсов канала. При этом большая часть времени тратится на коллизии и работу механизма отсрочки.

В целях сохранения работоспособности системы, при увеличении количества узлов необходимо сократить частоту генерации информационных сообщений. Так, при

уменьшении интенсивности до $\lambda_{em} = 5$, с учетом скоростного режима в населенных пунктах, деградации основного функционала системы безопасности не произойдет. Однако это позволит существенно повысить устойчивость системы к перегрузкам.

К дополнительным подходам к сокращению объема широковещательного трафика, которые можно использовать совместно с предложенным ранее алгоритмом, относится возможность фильтрации по типу сообщений. Типизация сообщений и их структура приведены в стандарте SAE J2735, описывающем предназначенную для этого технологию DSRC⁵. Анализируя степень актуальности информации в зависимости от удаления от источника, большую часть категорий сообщений можно замкнуть в зоне прямой слышимости сигнала, которая составляет 100–130 м. Принимая во внимание тот факт, что остановочный путь

⁵ DSRC Implementation Guide // A guide to users of SAE J2735 message sets over DSRC. SAE International. 2010. Pp. 1–210.

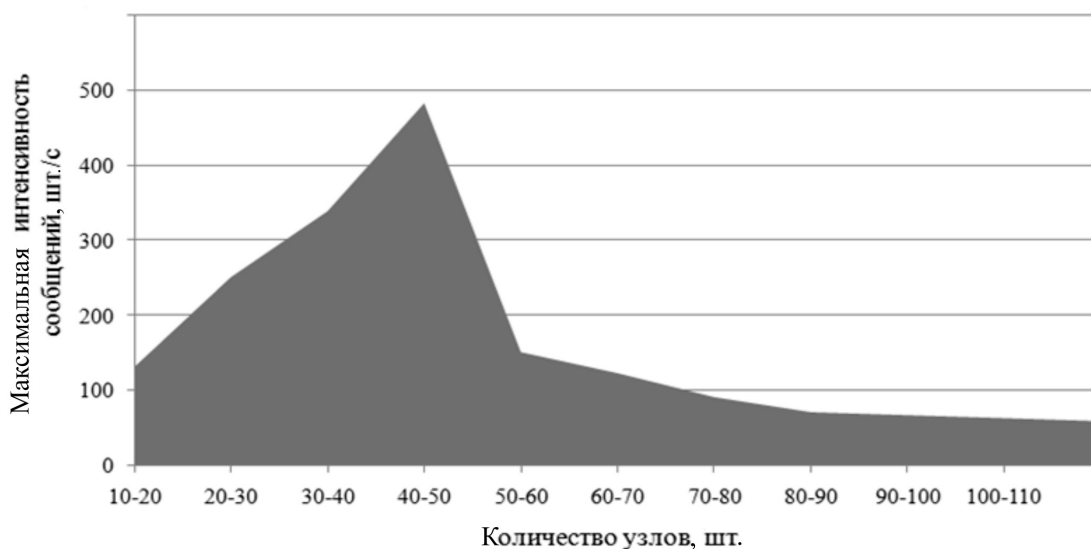


Рис. 11. Интенсивность полезной загрузки канала от плотности транспортных средств

Fig. 11. The intensity of the channel payload from the density of vehicles

с учетом принятого в городе скоростного режима, скользкого дорожного покрытия и использования сезонных покрышек не превышает 90 м [9], очевидно, что для принятия превентивных мер по предотвращению ДТП для категорий «Экстренное торможение», «Приближение аварийного ТС», «Ухудшение условий», «Совместное вождение», «Смена полосы движения» достаточно выполнить оповещение ТС в зоне прямого распространения сигнала. Такие категории как «Аварийная ситуация», «Опасность аварии», «Ситуация впереди» служат для

информирования водителей о необходимости изменения маршрута движения в связи с потенциальной опасностью. С учетом протяженности городских кварталов, для принятия мер по изменению маршрута необходимо расширить зону оповещения как минимум до трех ретрансляций (см. табл.). Это обусловливается еще и тем фактом, что концепция интеллектуальных транспортных систем подразумевает установку стационарных базовых станций в первую очередь на перекрестках, для сопряжения с существующими контроллерами систем

Предлагаемая классификация сообщений безопасности

Proposed security message classification

Категория сообщений	Задержка, мс	Интенсивность, шт./с	Дистанция, TTL
Аварийная ситуация	<10	5–10	3
Опасность аварии	<10	5–10	3
Экстренное торможение	<10	5–10	1
Приближение аварийного ТС	10–20	2–5	1
Ситуация впереди	10–20	5–10	3
Ухудшение условий	10–20	3–5	1
Совместное вождение	~100	5–10	1
Смена полосы движения	~100	5–10	1

управления дорожным движением.

Таким образом, при передаче категорий сообщений, связанных с управлением транспортными потоками, необходимо обеспечить их доставку до ближайших базовых станций. Данный подход позволит сократить избыточный трафик из зон расширения информационного кластера до минимума.

Заключение

На основе проведенного анализа можно производить оценку функциональных возможностей и эффективности функционирования системы обеспечения безопасности на основе VANET. По результатам выраба-

тываются рекомендации к настройке режима работы сети в части установки параметров ретрансляции определенных категорий сообщений, с целью повышения эффективности использования среды передачи. При этом помимо учета требований к задержкам, описанным в стандарте, увеличивается зона информирования участников дорожного движения о возможной опасности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.». Соглашение № 14.604.21.0165, уникальный идентификатор проекта RFMEFI 60417 X 0165.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Lei G., Liu F., Wang P.** Power adjustment based congestion control in vehicular Ad-Hoc networks // Proc. of the 4th Internat. Conf. on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology (ICAIET). 2014.

2. **Zemouri S., Djahel S., Murphy J.** Smart adaptation of beacons transmission rate and power for enhanced vehicular awareness in VANETs // Proc. of the IEEE 17th Internat. Conf. on Intelligent Transportation Systems (ITSC). Oct. 2014. Pp. 739–746.

3. **Jafer M., Khan M.A., Rehman S.U., Zia T.A.** Broadcasting under highway environment in VANETs using genetic algorithm // In IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 2017. Pp. 1–5.

4. **Aygun B., Boban M., Wyglinski A.M.** ECPR: Environment and context-aware combined power and rate distributed congestion control for vehicular communications // Computer Communications. 2016. No. 93. Pp. 3–16.

5. **Ярцев С.В.** Механизмы управления ши-

роковещательным трафиком в сетях VANET // Электросвязь. 2015. № 3. С. 27–31.

6. **Андронов А.М.** Анализ нестационарной бесконечнолинейной системы массового обслуживания как сети случайного доступа // Автоматика и вычислительная техника. 1994. № 1. С. 28–33.

7. **Назаров А.А., Семенова И.А.** Асимптотический анализ систем массового обслуживания с неограниченным числом приборов и полумарковским входящим потоком // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320. № 5. С. 12–17.

8. **Куликова О., Назаров А.** Исследование бесконечнолинейных систем массового обслуживания методом просеивания входящего потока. Минск: БГУ, 2005. С. 98–102

9. Тест шипы и липучки на льду: Казус градуса // URL: https://www.zr.ru/content/articles/16906-test_shipy_i_lipuchki_na_ldu_kazus_gradusa/ (Дата обращения: 04.08.2018).

Статья поступила в редакцию 07.07.2018.

REFERENCES

1. **Lei G., Liu F., Wang P.** Power adjustment based congestion control in vehicular Ad-Hoc networks. *Proc. of the 4th International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology (ICAIET)*, 2014.

2. **Zemouri S., Djahel S., Murphy J.** Smart adaptation of beacons transmission rate and power for enhanced vehicular awareness in vanets. *Proc. of the IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Oct. 2014, Pp. 739–746.

3. **Jafer M., Khan M.A., Rehman S.U., Zia T.A.** Broadcasting under highway environment in VANETs using genetic algorithm. *In IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, 2017, Pp. 1–5.

4. **Aygun B., Boban M., Wyglinski A.M.** ECPR: Environment-and context-aware combined power and rate distributed congestion control for vehicular communications. *Computer Communications*, 2016, No. 93, Pp. 3–16.

5. **Yartsev S.V.** Mekhanizm ypravleniya

shirokoveschchatelnym trafikom v setyakh VANET [Mechanisms for managing broadcast traffic in VANET]. *Elektrosvyaz*, 2015, No. 3, Pp. 27–31. (rus)

6. **Andronov A.M.** Analiz nestatsionarnoy beskonechnolineynoy sistemy massovogo obsluzhivaniya kak seti sluchaynogo dostupa. *Avtomatika i vychislitel'naya tekhnika*, 1994, No. 1, Pp. 28–33. (rus)

7. **Nazarov A.A., Semenova I.A.** Asimptoticheskiy analiz sistem massovogo obsluzhivaniya s neogranichennym chislom priborov i polumarkovskim vkhodyashchim potokom [Asymptotical analysis of queuing system with unlimited number

of instruments and semarkovsky incoming flow]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, Vol. 320, No. 5, Pp. 12–17. (rus)

8. **Kulikova O., Nazarov A.** *Issledovaniye beskonechnolineynykh sistem massovogo obsluzhivaniya metodom proseivaniya vkhodyashchego potoka* [Investigation of endless-line queuing systems by the method of sifting the incoming flow]. Minsk, BGU Publ., 2005, Pp. 98–102. (rus)

9. The test of studded tires and the friction of tires on ice: The incidence of a degree. Available: https://www.zr.ru/content/articles/16906-test_shipy_i_lipuchki_na_ldu_kazus_gradusa/ (Accessed: 04.08.2018). (rus)

Received 07.07.2018.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ЯРЦЕВ Сергей Викторович

YARTSEV Sergey V.

E-mail: s.yartsev@gmail.com

КУЧЕРЯВЫЙ Евгений Андреевич

KUCHERYAVY Yevgeni A.

E-mail: ykoucheryavy@hse.ru

ВЛАДЫКО Андрей Геннадьевич

VLADYKO Andrei G.

E-mail: vladyko@sut.ru