

УДК.621.395

МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНЫМ ТРАФИКОМ В СЕТЯХ VANET

С. В. Ярцев, соискатель СПб ГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, s.yartsev@gmail.com

Анализируются проблемы, связанные с распространением сообщений безопасности через транспортную ad hoc сеть VANET (Vehicular Ad Hoc Network). Производится обзор и классификация существующих методик оптимизации широковещательных рассылок. Предложен алгоритм управления процессом распространения сообщений безопасности, позволяющий минимизировать объем генерируемого в сеть трафика.

Ключевые слова: автомобильные ad hoc сети, широковещательный трафик, WAVE, IEEE 802.11p, VANET.

Введение. Концепция Интернета Вещей [1, 2] предусматривает дальнейшее развитие сетей связи на основе самоорганизующихся сетей [3, 4]. Одним из наиболее значимых приложений концепции Интернета Вещей являются интеллектуальные транспортные системы (ИТС) [5, 6, 7]. ИТС объединили в себе немало достижений современных технологий беспроводной связи, в первую очередь, WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) [8] и DSRC [9, 10]. Кроме того, при внедрении ИТС широко используются такие технологии, как WiMAX (Worldwide interoperability for Microwave Access) и LTE (Long Term Evolution), а также Bluetooth, ZigBee. Комплексное использование современных технологий осуществляется с целью обеспечения безопасности дорожного движения, управления транспортными потоками и предоставления широкого спектра инфокоммуникационных услуг.

Одним из важнейших компонентов ITS являются сети VANET (Vehicular Ad Hoc Network) [11, 12], основное назначение которых – обеспечение информационного обмена об опасностях и различного рода нештатных ситуациях между участниками дорожного движения. Данный функционал организуется посредством автоматизированной рассылки сообщений безопасности через ad hoc сеть, узлами которой служат сами транспортные средства. Организация своевременного информирования водителей о дорожной обстановке способствует не только снижению риска возникновения крупных дорожно-транспортных происшествий, но и перераспределению транспортных потоков, уменьшению пробок.

Высокая скорость движения транспортных средств накладывает особые требования на параметры функционирования сети. Так, ключевым требованием является минимизация задержек для передачи сообщений от приложений безопасности, что предопределяет необходимость использования специфической технологии беспроводной связи. Такой технологией стала WAVE, объединившая серию стандартов верхних уровней модели OSI IEEE 1609 и стандарт IEEE 802.11p, описывающий физический и канальный уровни [8, 10].

Для трансляции сообщений безопасности в стеке протоколов WAVE предусмотрен специализированный протокол обмена короткими сообщениями WSMP (WAVE Short Message Protocol) [13]. Этот протокол располагается на сетевом уровне модели OSI и в отличие от стандартного про-

токола IP обладает возможностью управления параметрами нижележащих уровней: номером канала передачи, мощностью передатчика, скоростью передачи данных и MAC-адресом получателя.

Архитектура. В структуре системы WAVE выделяют два основных типа устройств: OBU (On Board Unit), устанавливаемых на транспортных средствах, и RSU (Road Side Unit), располагаемых вдоль автомобильных дорог. В стандарте описываются два возможных типа взаимодействия — Vehicle-to-Vehicle (V2V) и Vehicle-to-Roadside (V2R) [8]. Взаимодействуя между собой, RSU и OBU формируют сеть VANET. При этом работоспособность и эффективность этой сети неразрывно связаны со степенью оснащения общего объема транспортных средств WAVE устройствами.

С учетом данного фактора становится понятно, что развертывание сетей VANET достаточно дорогой и объемный процесс, связанный с необходимостью установки RSU и оснащением всех транспортных средств OBU. Таким образом, наиболее реалистичным, с точки зрения реализуемости, является постепенное проникновение WAVE-устройств в автомобильную промышленность, а наиболее вероятным способом взаимодействия становится V2V с передачей сообщений от узла к узлу по принципу ad hoc.

Ключевые проблемы. Стандарт 802.11p предусматривает три типа координации доступа на MAC-уровне: DCF (Distributed Coordination Function), PCF (Point Coordination Function) и HCF (Hybrid Coordination Function). Учитывая высокую стоимость развертывания полноценной системы ITS с установкой не только бортовых устройств, но и RSU, требуемых для работы в режиме PCF, наиболее реалистичным способом координации в сетях VANET выглядит DCF. При этом доступ к общей среде передачи для всех узлов предоставляется на основе метода множественного доступа с контролем несущей и предотвращением коллизий CSMA/CA.

Процедура обмена сообщениями приложений безопасности в сетях VANET происходит в широковещательном режиме через беспроводной канал. Это приводит к необходимости учета таких особенностей процесса передачи радиосигналов, как замирания и многолучевое распространение, вызываемые переотражением сигналов от препятствий. Не трудно догадаться, что данные явления ярко проявляются в условиях городской среды с плотной застройкой. Они приводят к ситуациям, когда соседнее транспортное средство не может принять сообщение из-за попадания в так называемую зону замирания, где амплитуда сигнала резко уменьшается. Результат подобных процессов — снижение вероятности успешного оповещения всех соседних узлов о возможной опасности, и как следствие, неэффективность системы WAVE в целом.

Для наглядного представления вышеописанной проблемы было проведено моделирование процесса передачи широковещательных сообщений в условиях города. В качестве среды передачи использовали радиоканал с зами-

раниями по закону Nakagami-m. Данное распределение позволяет эмулировать сложную радиообстановку городской среды, где сигналы многократно переотражаются от препятствий. Глубина замираний для радиоканала установлена $m = 7$, мощность передатчика выбрана равной 7,24 дБм, что соответствует средней дистанции передачи сообщений в 200 м. В рамках исследования в сеть было сгенерировано 100 сообщений и произведена оценка объема успешно принятых сообщений от расстояния (рис. 1).

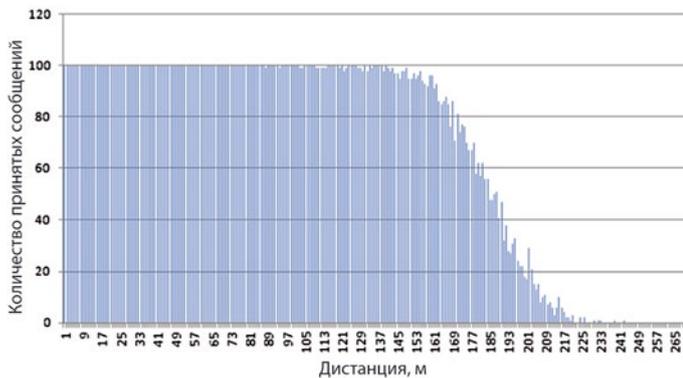


Рис 1. Гистограмма зависимости количества принятых сообщений от дистанции

Как можно видеть, начиная с дистанции 88 м, появляются потери сообщений, а после 140 м их объем резко возрастает. Эти потери вызваны затуханием сигнала и явлением замирания, когда сигнал, прошедший от источника к получателю через разные пути, компенсируется по амплитуде. Подробнее данный эффект можно рассмотреть на диаграмме зависимости значения SINR (Signal to Interference Noise Ratio), определяемого как отношение полезный сигнал/интерферирующие помехи + шум от расстояния до источника (рис. 2). С диаграммы удалены не представляющие интереса значения до 88 м, поскольку на этом участке SINR принимает достаточно большое значение. В результате сообщения во всех 100 случаях передачи успешно доставлены до получателя.

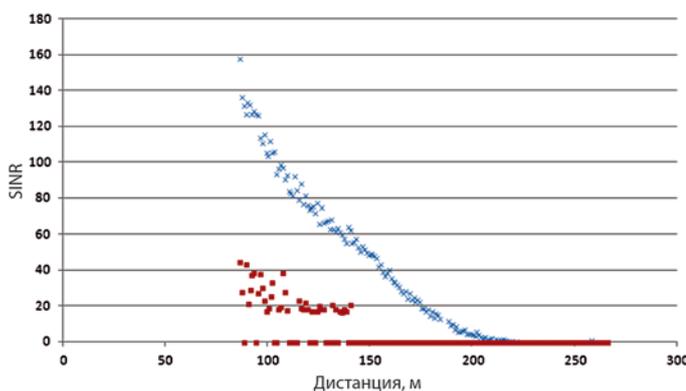


Рис 2. Диаграмма зависимости значения SINR от дистанции распространения

Красными квадратными метками на диаграмме приведены минимальные значения SINR, синими (в виде крестиков) отображаются средние значения SINR в зависимости

от дистанции. Ясно, что факт появления на определенной дистанции нулевых значений SINR свидетельствует о наличии ненулевой вероятности потерь на этой дистанции. Как следствие, транспортные средства, уже начиная с дистанции 88 м, могут пропустить важное сообщение об опасности и не успеть предпринять необходимые профилактические меры.

Стратегии передачи. Решение задачи увеличения дистанции информирования в целях предоставления водителям необходимого времени для предотвращения происшествий заключается в распространении сообщений через сеть VANET по принципу ad hoc. Существует несколько подходов для организации данного процесса (рис. 3) [14, 15].



Рис. 3. Классификация подходов организации широковещательных рассылок

Простая широковещательная рассылка организуется посредством последовательной пересылки пакетов всеми узлами. Такой подход наиболее прост с точки зрения реализации, но крайне неэффективен, поскольку степень загрузки канала увеличивается пропорционально плотности активных узлов.

Методы широковещательной рассылки на основе информации о местоположении используют в своих алгоритмах информацию от спутниковых систем навигации, таких как GPS или ГЛОНАСС. Основными проблемными областями применения данной группы методов является необходимость интеграции с датчиками приема координат, а так же неточность позиционирования в условиях высотной застройки или даже полное отсутствие возможности определения местоположения в некоторых местах, например в тоннелях.

Широковещательная рассылка, базирующаяся на информации об окружении, включает группу методов, суть которых — организация пересылки сообщений на основе предварительного исследования окружающей обстановки. При этом либо образуются кластеры с распределением прав передачи сообщений, либо параметры режима передачи рассчитываются на основе информации из принимаемых сообщений о количестве, скорости и направлении движения транспортных средств.

В четвертой группе методов каждый узел индивидуально принимает решение о необходимости пересылки сообщения по значению вероятности, вычисляемому по определенному алгоритму. Основой алгоритмов вычисления вероятности выступают параметры, которые узел может либо получить из принимаемых сообщений, либо измерить самостоятельно. Такими параметрами могут быть дистанция до соседних узлов, интенсивность коллизий, коэффициент ду-

блирования сообщений [16–18]. При этом в качестве управляющего механизма выступает не только принятие решения о пересылке или отбрасывании пакета, но и изменение таких параметров процесса передачи, как значение таймера обратного отсчета или уровень мощности передатчика.

Алгоритм управляемого буфера задержки. Предлагаемый алгоритм относится к группе методов вероятностной, параметрической широковещательной рассылки, поскольку именно эта группа ориентирована на автономный режим функционирования. В качестве метрики для принятия решения об управляющем воздействии предлагается использовать SINR. Этот параметр позволяет наиболее точно оценить возможность успешного принятия сообщения на фоне внешних воздействий.

Основной принцип работы алгоритма — формирование задержки для входящих широковещательных сообщений. Величина задержки варьируется исходя из значения SINR, измеряемого каждым узлом при приеме сообщения. Интервал задержки рассчитывается индивидуально для каждого принятого пакета. В течение времени задержки узел продолжает работать в стационарном режиме и в случае прихода дублирующего сообщения оба сообщения помечаются как запрещенные к дальнейшей пересылке. При этом удаления сообщения не производится еще в течение удвоенного среднего времени прохождения сообщения на расстояние в 3 шага, поскольку данное действие может привести к повторной регистрации сообщения как нового. Кроме этого, в алгоритме предусматривается ограничение времени жизни сообщений с целью сужения области информирования до требуемых размеров. Более подробное представление о принципе работы алгоритма можно получить с помощью блок-схемы состояний узла (рис. 4).

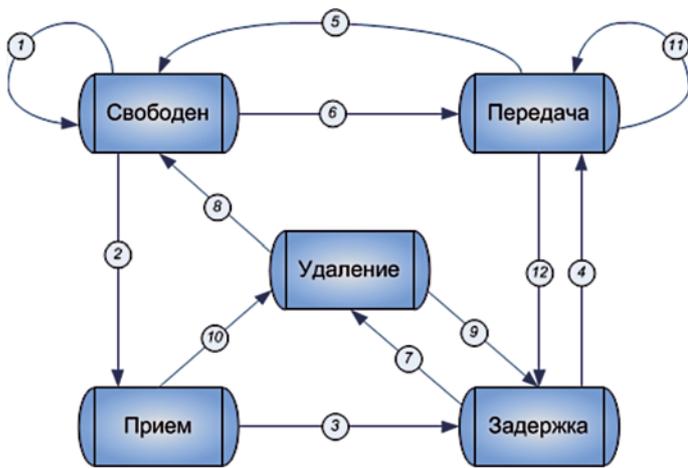


Рис. 4. Схема состояний узла

Предлагаемый подход к организации ретрансляции сообщений крайне эффективен при скоплении большого числа транспортных средств, часто встречающегося в городах. В таких ситуациях нет необходимости каждому узлу ретранслировать сообщение, поскольку это может привести к перегрузке сети в целом.

В исходном состоянии узел пребывает в свободном состоянии (1). Выход из этого состояния возможен либо при поступлении сообщения из канала (2), либо при необходимости передачи собственного сообщения (6). Если на вход пришло новое сообщение, то на основе значения SINR для

него устанавливается интервал задержки, размер которого распределен по показательному закону (3). Такой подход к установке интервала задержки выбран с целью предоставления приоритета дальнейшей пересылки тем узлам, у которых уровень SINR меньше, а, следовательно, они либо более удалены от источника, либо находятся в зоне более глубоких замираний.

Если в течение интервала задержки дублирующих сообщений не приходит, то текущее сообщение отправляется на передачу (4). Иначе, если приходит дублирующее сообщение, то исходное сообщение помечается как запрещенное к пересылке и для него устанавливается интервал ожидания удаления. Дублирующее сообщение при этом отбрасывается. В последующих случаях появления дублирующих сообщений все они сразу отбрасываются (10). По истечении времени ожидания удаления считается, что переходной процесс распространения сообщения по сети закончен и дуближи появиться не могут, поэтому сообщение удаляется из буфера задержки (7). Если буфер задержки после этого пуст, то узел переходит в состояние «свободен» (8), в противном случае продолжается процесс ожидания истечения таймера задержки для следующего сообщения (9).

После передачи всех сообщений из очереди ожидания передачи (11), узел либо возвращается в свободное состояние (5), либо переходит в состояние ожидания истечения таймера задержки для очередного сообщения в буфере задержки (12).

Дистанция информирования. Важной особенностью предлагаемого алгоритма является механизм определения интервала задержки. За его основу принята идея максимизации надежности, а не дальности [19, 20]. Для этого преимуществом ретрансляции отдается не максимально удаленным от источника узлам, таким как $n9$ и $n10$ (рис. 5), а узлам $n7$ и $n8$ из зоны начала деградации вероятности успешной доставки $X3$. Если обратиться к рис. 1, видно, что данная зона соответствует расстоянию примерно 150–175 м от узла инициатора. Среднее значение SINR для расстояния 150–175 м (см. рис. 2) изменяется в пределах 25–40 дБ. В этой зоне среднее значение SINR сохраняется достаточно высоким для успешного принятия сообщений в большинстве случаев передачи.

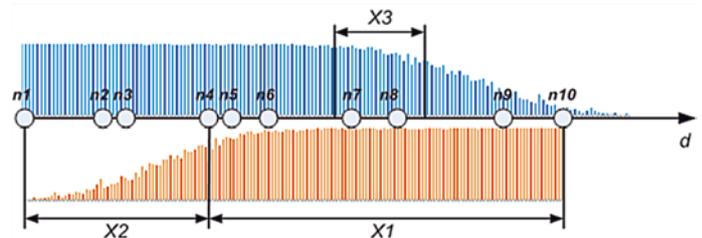


Рис. 5. Выбор дистанции ретрансляции

Подобный выбор обусловлен физическими процессами, присутствующими в канале. В верхней части рис. 5 видно, что по мере удаления от узла инициатора $n1$, вероятность успешной доставки сообщения снижается. Если ориентировать алгоритм на наименьшее значение SINR, то в случае успешного принятия сообщения узлом $n10$ именно он должен выполнять ретрансляцию. Но, как следует из нижней диаграммы, при этом сохраняется высокая вероятность того, что узлы $n1$, $n2$ и $n3$ в зоне $X2$ с высокой долей вероятности останутся непокрытыми дублирующим сообщением,

что приведет к повторной ретрансляции сообщений этими узлами по истечении интервала задержки. Таким образом, повторная ретрансляция приведет к непроизводительной загрузке канала и, как следствие, снижению эффективности механизма оповещения соседних узлов.

Обратной стороной медали данного подхода является сокращение дистанции информирования при многошаговом распространении сообщений. При оценке протяженности городских кварталов с учетом мест, предоставляющих возможность изменения направления движения на примере С.-Петербурга, установлено, что расстояние до места совершения маневра не превышает 450 м. Эта дистанция была взята за минимальное расстояние, на которое необходимо передавать сообщения об инциденте. Покрытие данной дистанции может быть выполнено за 3 шага.

Использование предложенного алгоритма сокращает дистанцию информирования за 3 шага до 450–500 м в отличие обычного ширококвещательного распространения или применения алгоритмов геокастинга, где дистанция может превышать 600 м. Но, учитывая степень снижения объемов избыточного трафика и тот факт, что обеспечивается минимально необходимая дистанция в 450 м (достаточная для принятия профилактических мер по избеганию аварийных ситуаций и выполнению необходимых маневров), преимущества данного подхода становятся очевидными.

Реализация алгоритма в среде моделирования. Инструментом для проверки эффективности работы предлагаемого алгоритма была выбрана широко известная среда моделирования NS-2 (Network Simulator версия 2). Она обладает открытым кодом, что позволяет вносить необходимые модификации в структуру протоколов с целью исследования их характеристик.

Для моделирования сетей VANET в NS-2, начиная с версии 2.31, были добавлены модули расшире-

ния канального и физического уровней MAC/802_11Ext и Phy/WirelessPhyExt, соответственно [21]. Эти расширения, разрабатываемые с учетом требований стандарта IEEE 802.11p, содержат массу серьезных доработок стандартной функциональности протокола 802.11a, послужившего прародителем данного протокола.

Для применения функционала предлагаемого алгоритма (не затрагивая существующей реализации стандарта IEEE 802.11p) были разработаны и включены в общую структуру дополнительные программные модули. Буфер задержки и управляющие им модули размещены на канальном уровне и интегрированы с модулями, реализующими стандартный механизм доступа к среде (рис. 6). Такая реализация позволяет избежать необходимости изменения физической конфигурации устройств WAVE, ограничившись только программной реконфигурацией узлов.

Анализ результатов моделирования. Имитационное моделирование сети VANET с использованием модифицированного модуля для MAC-уровня позволяет оценить степень изменения характеристик загрузки сети. Прежде всего, применение предложенного алгоритма позволяет сократить количество сообщений, транслируемых в сеть, и повышает эффективность использования ресурсов разделяемой среды передачи. Был проведен сравнительный анализ объема отправляемых в сеть сообщений для метода простого ширококвещательного распространения и предлагаемого в данной статье метода, в зависимости от плотности узлов на исследуемом участке дороги. В сеть отправлялось 10 сообщений и оценивалось итоговое количество сообщений, порожденных этой отправкой с учетом всех ретрансляций (рис. 7). В обоих случаях время жизни пакета, измеряемое в количестве переходов между узлами (шагах), установлено равным 3. Синим цветом отмечены результаты метода простой ширококвещательной рассылки, зеленым — метода, предлагаемого в данной статье.

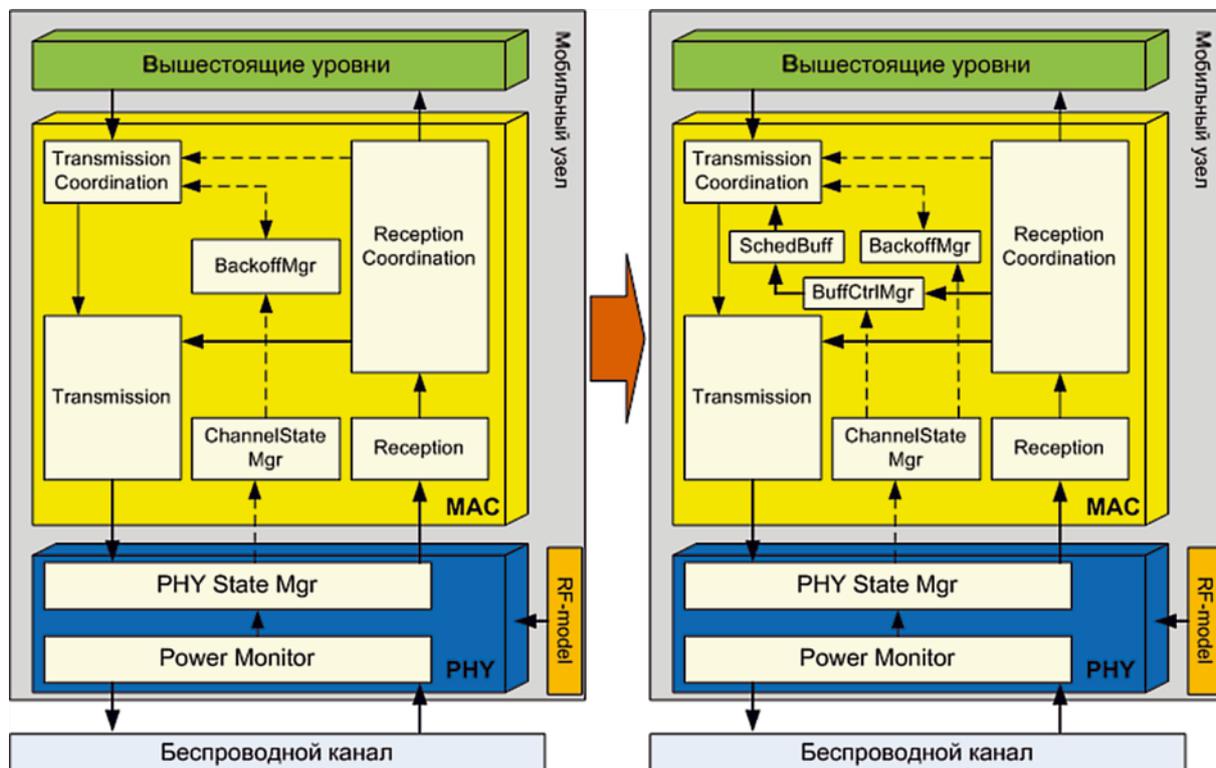


Рис. 6. Структурная схема узла с модифицированным MAC-уровнем

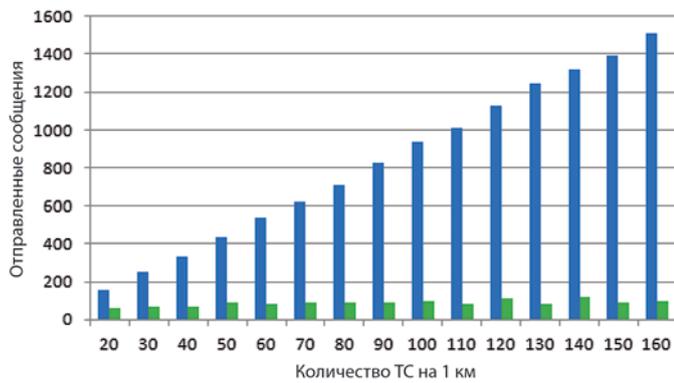


Рис. 7. Сравнение загрузки сети в зависимости от метода ретрансляции сообщений

Для сравнительной оценки количества коллизий при использовании обоих методов сценарий моделирования был расширен до отсылки 150 сообщений (рис. 8).

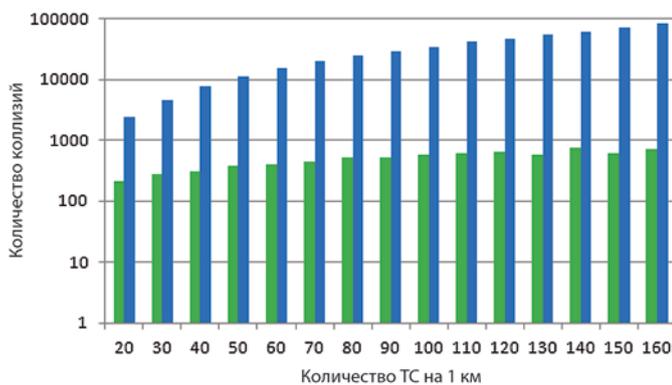


Рис. 8. Сравнение количества коллизий в зависимости от метода ретрансляции сообщений

Заключение. Применение предложенного алгоритма ретрансляции сообщений позволяет существенно сократить непроизводительную загрузку сети, уменьшить количество коллизий и повысить производительность сетей VANET. Дополнительное преимущество данного алгоритма — отсутствие необходимости использования данных от систем позиционирования, что делает эффективность его функционирования более стабильной. Как видно из диаграмм, приведенных на рис. 7 и 8, результативность предложенного алгоритма тем выше, чем выше плотность узлов в сети. Данный факт обусловлен ростом количества оповещенных узлов при сохранении или незначительном изменении количества узлов, производящих ретрансляцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей // Электросвязь.— 2013.— № 1.
2. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN.— С. Петербург: БХВ, 2013.
3. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети.— СПб: Любавич, 2011.
4. Кучерявый А. Е. Самоорганизующиеся сети и новые услуги // Электросвязь.— 2009.— № 1.
5. Аксенов В. О., Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Хворов И. А. Анализ элементов ИТС: терминология, классификация, модели взаимодействия // Электросвязь.— 2014.— № 1.
6. Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture / ETSI EN 302665.— Sep. 2010.
7. Intelligent Transport Systems (ITS); Framework for conformance and interoperability testing / ETSI EG 202798.— Jan. 2011.
8. IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Architecture / IEEE Std 1609.0.— 2013.
9. Григорьев В. А., Распаев Ю. А., Хворов И. А., Тараканов С. А. Протоколы беспроводной сети связи на основе технологии DSRC для транспортных средств // Электросвязь.— 2014.— № 1.
10. DSRC Implementation Guide. A guide to users of SAE J2735 message sets over DSRC / SAE International.— 2010.
11. Koucheryavy Y., Jakubiak J. Research Challenges in Vehicular Ad hoc Networks / Proceedings IEEE CCNC 2008, Las Vegas, USA.— January 10–12, 2008.
12. Кучерявый А. Е., Винель А. В., Ярцев С. В. Особенности развития и текущие проблемы автомобильных беспроводных сетей VANET // Электросвязь.— 2009.— № 1.
13. Minpeng Miao, Qiang Zheng, Kan Zheng, Zhiwei Zeng. Implementation and Demonstration of WAVE Networking Services for Intelligent Transportation Systems. Internet of Vehicles.— Technologies and Services, IOV.— 2014.
14. Altayeb M., Mahgoub I. A Survey of Vehicular Ad hoc Networks Routing Protocols // ISSN 2028–9324.— July 2013.— Vol. 3, No. 3.
15. Chitra M., Sathya S. S. Efficient broadcasting mechanisms for data dissemination in vehicular ad hoc networks / IJMNCT.— June 2013.— № 3.
16. Gui-Sen Li, Wan-Liang Wang, Xin-Wei Yao. An Adaptive and Opportunistic Broadcast Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks // International Journal of Automation and Computing 9 (4).— Aug. 2012.
17. Wisitpongphan N., Tonguz O. K. Broadcast Storm Mitigation Techniques in Vehicular Ad Hoc Networks // IEEE Wireless Communications.— Dec. 2007.
18. Benaidja A., Moussaoui S., Naït-Abdesselam F. An Optimal Broadcast of Warning Messages in Vehicular Ad Hoc Networks // International Journal of Computer and Information Technology (ISSN: 2279–0764).— Sep. 2013.
19. Korkmaz G., Ekici E. et al. Urban MultiHop Broadcast Protocol for InterVehicle Communication Systems / ACM VANET'04.— Oct. 2004.
20. Miorandi D., Altman E. Connectivity in one-dimensional ad hoc networks: A queueing theoretical approach. / Springer Science+Business Media.— May 2006.
21. Chen Qi, Schmidt-Eisenlohr F., Jiang D. et al. Overhaul of IEEE 802.11 Modeling and Simulation in NS-2 (802.11Ext) / MSWiM.— 2008.

Получено 14.02.15а