

Исследование параметров сетевого взаимодействия ad hoc сетей стандарта 802.11p в интеллектуальных транспортных системах

В. Ю. Хараев

В данном исследовании нас будут интересовать ключевые параметры передачи данных между узлами в статичных ad hoc сетях различной размерности. Такие исследования важны для понимания основных характеристик v2v-взаимодействия (vehicle-to-vehicle) в интеллектуальных транспортных системах (ITS). Как известно, в международных проектах реализации ИТС ключевая роль в обмене данными между автомобилями отводится протоколу 802.11p. В данной работе моделировалось взаимодействие группы автомобилей в городской среде. Исследовались такие характеристики, как скорость доставки и количество доставленных пакетов в условиях плотного окружения, критическая дальность связи и время доставки сообщений на средних расстояниях.

Ключевые слова: ITS, MANET, vehicle, v2v, ad hoc networks, wifi, NS-3, OLSR, IEEE 802.11p.

Введение

В настоящее время интенсивно развивается научное направление в области построения телекоммуникационных систем с динамической топологией сети. Подобные системы получили название MANET (Mobile ad hoc Networks). Основное назначение подобных сетей – организация связи между подвижными объектами – людьми, автомобилями, железнодорожным и водным транспортом. Дальнейшая тенденция развития MANET – это их полная интеграция в другие системы связи общего или специального использования.

Для ad hoc сетей, образованных бортовыми компьютерами автомобилей, необходимы характеристики, способные обеспечить решение задач, поставленных перед разработчиками интеллектуальных транспортных систем. В первую очередь это вопросы 1) безопасности и 2) оптимизации дорожного движения.

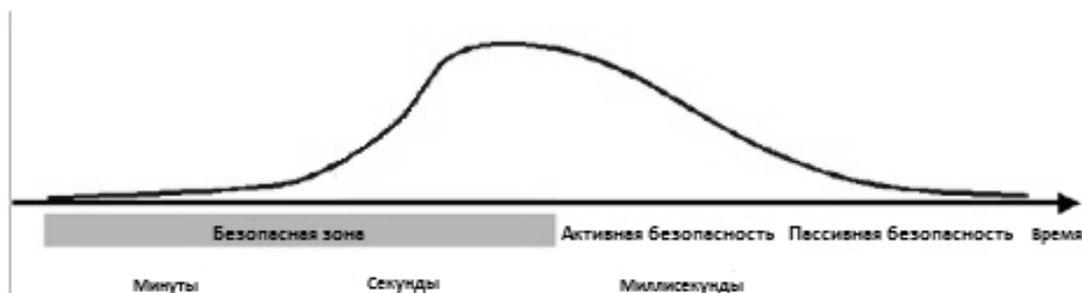


Рис.1. Зависимость аварийной ситуации от времени реагирования

Цель концепции активной безопасности – предупредить и дать рекомендации водителю во временном окне, указанном на рис.1 [1], для того, чтобы «вовремя» успеть предпринять необходимые действия. Целью приложений безопасности является предоставление водите-

лям других транспортных средств или инфраструктуре предупреждений и рекомендаций, дающих им достаточно времени для принятия необходимых действий в соответствие со сценарием, найденным приложением, без передачи контроля за действиями автомобиля от водителя к автоматике. В качестве передаваемой информации, как правило, используются файлы небольшого объёма, содержащие информацию, некритичную к миллисекундным задержкам.

Дальнейшим направлением развития MANET является построение систем связи, предназначенных для передачи интенсивного трафика, в том числе и трафика реального времени (голосовой и видеоинформации).

Ключевым фактором, влияющим на такие параметры как производительность сети и задержка передачи данных, является работа протокола маршрутизации. Каждый класс протоколов потенциально имеет свои преимущества и недостатки при использовании в условиях мобильных *ad hoc* сетей. Например, проактивные протоколы обладают преимуществом перед реактивными во времени построения маршрута. У проактивных протоколов этот процесс происходит заранее, и перед передачей требуется лишь просмотреть маршрут из таблицы, тогда как реактивным протоколам необходимо разослать широковещательный запрос и дожидаться подтверждения от адресата. Однако проактивным протоколам необходимо постоянно осуществлять широковещательные рассылки, на что может расходоваться значительная доля пропускной способности сети, особенно в условиях крупных сетей с высокой мобильностью узлов.

В решётках, состоящих из узлов, каждый из которых является бортовым компьютером автомобиля, передача данных от узла к узлу осуществляется при помощи проактивного протокола маршрутизации OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) [2], применяющегося в MANET. OLSR поддерживает маршрутные таблицы в узлах сети при помощи регулярных процедур обновления маршрутной информации в сети. Протокол эффективен для больших и плотных мобильных сетей.

OLSR основан на понятии многоточечной эстафеты MPR (MultiPoint Relay). Каждый узел сети m выбирает несколько узлов из числа своих соседей (т.е. из узлов, с которыми у него установлено соединение). В итоге в сети формируется набор узлов MPR(m). Причём он формируется так, что все узлы, находящиеся в сфере с радиусом 2 шага от узла m (соседи соседей), имеют симметричные каналы с MPR(m). Это означает, что узлы MPR связаны со всеми узлами в сфере с радиусом 2 шага. MPR выбираются каждый раз, когда обнаруживается изменение в сфере с радиусом 1 или 2.

Каждый узел сети хранит свою таблицу маршрутизации, которую формирует на основании информации о топологии сети. Она распространяется по всей сети посредством служебных пакетов выбора маршрута Topology Control (TC). Причём только MPR-узлы участвуют в пересылке TC-пакетов, остальные узлы принимают и обрабатывают такие пакеты, но не пересылают их дальше.

Для каждого MPR формируется список соседних узлов, выбравших его в качестве MPR, – список MPR Selectors (MPRS). Информация о MPRS передается в специальных HELLO-пакетах, которые передаются только между двумя соседними узлами. В сеть (в TC-пакетах) передаётся только информация о состоянии соединений между MPR и его MPRSs. Данный механизм позволяет существенно снизить число передач служебных пакетов по сравнению с лавинной рассылкой.

OLSR разработан как совершенно распределённый протокол, он не зависит от каких-либо корневых узлов. Кроме того, каждый узел шлёт контрольные пакеты периодически, поэтому протокол устойчив в случае потери части этих сообщений, что довольно часто случается с широковещательными пакетами в беспроводных сетях.

Предыдущие работы

Сравнительному анализу реактивных и проактивных протоколов посвящено много работ. Сравнение производительности протоколов производилось по следующим величинам.

1. Средняя пропускная способность (throughput). Измерялась как отношение количества пакетов с данными, достигших узла назначения, к общему количеству передаваемых пакетов.

2. Средняя задержка пакета с данными (packet delay). Определяется как промежуток времени, который проходит с момента генерации пакета данных узлом-отправителем до момента его приёма узлом-получателем.

Например, в [3] проводится сравнение проактивного протокола маршрутизации OLSR и реактивного AODV. В работе показано, что в сетях с высокой плотностью станций и большим числом пользовательских потоков использование AODV, в отличие от OLSR, приводит к большому объёму служебного трафика.

В работе [4] показана эффективность AODV в сетях со статическим трафиком, так как в таких сетях AODV использует меньше ресурсов, чем OLSR, однако в сетях с динамическим трафиком (частым изменением пар «источник-получатель») протокол OLSR более эффективен.

В [5] показана эффективность применения реактивного протокола AODV в определённых сценариях. Утверждается, что выбор протокола маршрутизации должен зависеть от характеристик сети.

В работе [6] утверждается, что выбор подходящего для определённого сценария протокола маршрутизации – очень сложная задача, так как нет протокола, подходящего для всех сценариев. Во всех работах говорится о том, что протоколы каждого класса показывают хорошие результаты только при определённых условиях. Однако заранее предсказать топологию сети или характер трафика часто невозможно, поэтому необходимо добиваться максимального снижения зависимости эффективности способа рассылки сетевой информации от сценария работы сети.

В проведённых выше исследованиях проводилось сравнение работы протоколов маршрутизации в определённых сценариях. В этих работах не ставилось задачи определения пограничных характеристик поведения протокола OLSR и не исследовались характеристики нового стандарта 802.11p. В данной статье мы рассмотрим поведение системы в решётках разной размерности в наиболее современном исследовательском симуляторе NS-3, который не применялся в вышеупомянутых работах и крайне редко встречается в российском сегменте исследователей MANET.

Сетевое моделирование

В случае комплексных сетевых систем развёртывание и анализ протоколов могут быть крайне сложными. Адекватное сравнение протоколов с чисто теоретических позиций затруднено тем, что на процесс передачи данных в ad hoc сетях оказывает влияние большое число различных факторов, многие из которых носят случайный характер и слабо поддаются строгому математическому анализу. На данный момент не известно ни одной общепринятой аналитической модели для оценки эффективности протоколов маршрутизации в ad hoc сети. Поэтому основным инструментом сравнительного анализа протоколов маршрутизации при работе в ad hoc сетях является имитационное моделирование, которое в целях экономии времени и средств первоначально осуществляется посредством компьютерных программ-симуляторов, без применения реального оборудования.

Исследование, проведённое Ассоциацией вычислительной техники (Association for Computing Machinery, ACM) [7] показало, что в 76% научных работ в области исследований беспроводных сетей применяется сетевое моделирование. Самым известным и широкоиспользуемым пакетом для моделирования компьютерных сетей является симуля-

тор Network Simulator 3 (NS-3) [8] – дискретный симулятор, предназначенный для моделирования различных видов сетей, в том числе и беспроводных. Этот симулятор в основном применяется для моделирования протоколов маршрутизации и в большой степени используется для исследований в ad hoc сетях. NS-3 моделирует работу всех уровней модели OSI.

В данной работе мы применим модель радиоканала IEEE 802.11p [9], разработанную IEEE специально для vehicle-to-vehicle взаимодействия.

Постановка задачи

В нашем исследовании моделировалось взаимодействие группы неподвижных автомобилей, размещённых в узлах плоской решётки. Это предельно упрощённый сценарий сетевого взаимодействия автомобилей посредством передачи друг другу определённого количества пакетов в состоянии, когда скорость автомобилей очень мала. Такой сценарий достаточно приближен к условиям городского окружения на средних дистанциях или взаимодействия на перекрёстках для малых расстояний между объектами и является первым приближением к реальной динамической ситуации (рис. 2).



а) расположение автомобилей на средней дистанции



б) расположение автомобилей на короткой дистанции

Рис. 2. Расположение автомобилей в городской среде

В данной работе нас интересовали ключевые характеристики передачи данных между автомобилями в условиях городской среды. В условиях плотного окружения (рис. 2 б) к таким характеристикам относятся: 1) время доставки сообщений на коротких дистанциях, которое необходимо для реагирования приложений активной безопасности; 2) производительность сети, необходимая для экстренного одновременного информирования большого количества автомобилей на небольшом участке или обмена большими порциями информации между автомобилями. В условиях средней дистанции (рис. 2 а) нас больше интересуют: 1) критическая дальность связи для различных режимов 802.11p для понимания географических масштабов сети обмена информацией между объектами; 2) и время, необходимое для доставки такой информации, в зависимости от размеров сети.

Для экспериментов используется система сетевого моделирования NS3, являющаяся свободным программным обеспечением, распространяемым под лицензией GNU GPLv2 [10], и ориентированная на исследовательское применение, а также на применение в образовательных целях. Исходные коды NS3 открыты для исследования, модификации и доступны на сайте проекта [8].

В качестве исходного скрипта использовалась модель wifi-simple-adhoc-grid.cc [11], которая позволяет нам моделировать процесс передачи пакетов от одного узла к другому в двумерной (2d) решётке $S \times S$ (рис.3). Скрипт модифицирован автором этой статьи в части

облегчения процедуры ввода данных в командной строке Debian GNU/Linux.

```
// n20 n21 n22 n23 n24
// n15 n16 n17 n18 n19
// n10 n11 n12 n13 n14
// n5 n6 n7 n8 n9
// n0 n1 n2 n3 n4
```

Рис. 3. Пример – топология 2d 5×5

В данной модели будут меняться следующие параметры: физический стандарт передачи данных, расстояние между узлами решётки, размер передаваемого пакета, количество передаваемых пакетов, количество узлов в решётке, номер узла приёмника и номер узла-передатчика, интервал передачи пакетов, время начала генерации трафика (отводимое на сходимость протокола OLSR). В качестве физического стандарта передачи данных использовался стандарт 802.11р, предусматривающий различные режимы передачи: 3mbs, 4.5mbs, 6mbs, 9mbs, 12mbs, 18mbs, 24mbs и 27mbs.

Результаты моделирования

Моделирование процесса доставки пакетов на коротких дистанциях

Начнём с исследований на малых расстояниях. Нас интересует время доставки пакетов в ситуации, когда узлы находятся близко друг от друга. Рассмотрим ситуацию, когда 4 узла расположены в вершинах квадрата со сторонами 5 метров (рис. 4). Будем посылать 2 пакета из одной вершины квадрата в другую по диагонали (от узла n3 к узлу n0 в решётке 2×2). Первый пакет посылается в момент времени 0, второй через 1 сек. Физический стандарт передачи 802.11р, режим 3mbs. Размер пакетов 1000 байт.

```
n2 n3
n0 n1
```

Рис.4. Схема расположения узлов в решётке 2×2

Вывод результатов моделирования в NS-3 осуществляется в виде файлов с расширением .pcap, которые можно просмотреть с помощью команды tcpdump.

После запуска программы симуляции с вышеуказанными параметрами, на экране компьютера мы получим сообщение о получении 2-х пакетов (табл. 1).

Таблица 1. Таблица вывода результатов моделирования (расшифровка скриншота вывода)

Время (с)	Выводимое сообщение	Расшифровка сообщения
0.000357	arp who-has 10.1.1.1 tell 10.1.1.4"	Узел № 3 отправляет широковещательный arp-запрос
0.000409	arp reply 10.1.1.1 is-at 00:00:00:00:00:01	Узел № 0 посылает arp-ответ со своим mac-адресом
0.000693	Acknowledgment RA: 00:00:00:00:00:01	Уведомление о получении arp-ответа

0.003669	IP 10.1.1.4 >10.1.1.1: UDP, length 1000	Узлом 0 (10.1.1.1) получен первый UDP-пакет от узла 3 (10.1.1.4)
0.003685	Acknowledgment RA: 00:00:00:00:00:04	Уведомление о получении первого UDP-пакета
0.028764	IP 10.1.1.4 >10.1.1.255: OLSR, length 20	Узел № 3 отправляет широковещательный служебный ТС-пакет протокола OLSR
0.325583	IP 10.1.1.3 >10.1.1.255: OLSR, length 20	Узел № 2 отправляет широковещательный служебный ТС-пакет протокола OLSR
0.417575	IP 10.1.1.1 >10.1.1.255: OLSR, length 20	Узел № 0 отправляет широковещательный служебный ТС-пакет протокола OLSR
0.492917	IP 10.1.1.2 >10.1.1.255: OLSR, length 20	Узел № 1 отправляет широковещательный служебный ТС-пакет протокола OLSR
1.002888	IP 10.1.1.4 >10.1.1.1: UDP, length 1000	Узлом 0 (10.1.1.1) получен второй UDP-пакет от узла 3 (10.1.1.4)
1.002904	Acknowledgment RA: 00:00:00:00:00:04	Уведомление о получении UDP-пакета

Из результатов моделирования видно, что время доставки пакетов составляет 3.7 мс для первого пакета и 2.9 мс для второго. Второй пакет доставлен быстрее, так как в этом случае нет задержки, отведённой для работы агр-протокола.

Также из табл. 1 видно, что на коротких дистанциях пакеты передаются напрямую (в один «прыжок») без участия OLSR-протокола.

Определение критической дальности связи для разных режимов

Целью исследования является изучение механизма доставки пакета в решётке 2×2 и определение максимальных расстояний дальности связи для разных режимов протокола 802.11р.

Режим wifi-3mbs-10Mhz

В момент времени 0 запускаем 1 пакет от узла n3 к узлу n0 (рис.4) в решётке 2×2. Пакет проходит по диагонали при дальности 218 м (двойной шаг решётки, т.е. длина стороны квадрата в решётке 2×2). На дальности 219 м пакет перестаёт доставляться.

Почему это так? Анализ вывода результатов моделирования в NS-3 показывает, что когда мы посылаем пакет от узла 3 к узлу 0 по диагонали в момент времени 0, все узлы в решётке, за исключением узла-отправителя, начинают обмениваться OLSR-сообщениями, которые мешают агр-протоколу и процессу передачи пакета. Первыми занимают среду узла-приемника OLSR-пакеты от других ближайших узлов 2 и 1. В этом случае агр-запросы от узла отправителя (n3) не получают агр-ответы и передачи пакета не происходит на расстояниях более 218 м. При длине стороны квадрата 218 м. и менее первыми доходят до узла получателя агр-запросы от отправителя. В этом случае одинарное расстояние по диагонали от узла 3 к 0 для агр-протокола составит 154 м. При таком расстоянии он может захватить среду узла 0.

Поэтому, если мы передаём данные напрямую между двумя узлами, разнесёнными друг от друга на расстояние 154 м и менее, побеждает агр-протокол и пакет сразу же доставляется. В этом механизме доставки исключена работа OLSR-протокола. В этом режиме можно вычислить реальную дальность связи между двумя узлами. Поэтому для определения критической дальности связи мы будем запускать пакет напрямую от n1 к n0. Далее будем варьировать дальность связи. Предельная дальность составит 656 м (двойной шаг решётки). На расстоянии 657 м пакет перестаёт доставляться. При изменении размера пакета предельная дальность не меняется.

Те же результаты по дальности связи мы получим, если будем запускать пакет по диагонали. В момент времени 0 запускаем 1 пакет от узла n3 к узлу n0, пакет проходит по диаго-

нали при дальности 218 м (двойной шаг решётки). На 219 м пакет не идёт без маршрутизации. Если дать время на маршрутизацию около 5 сек (установить параметр startTime=5), то пакет при этом расстоянии (219 м) пойдёт по пути n3-n2-n0 с участием arp-протокола.

В зависимости от того, сколько времени мы отведём на сходимость OLSR-протокола, увеличивается и дальность передачи. Например, при времени запуска пакета 11 сек, дальность связи увеличивается до 648 м. Однако в дальнейшем при увеличении времени старта до бесконечности дальность не превышает 656 м. Это предел дальности связи.

Проведём исследование по определению дальности связи для других режимов 802.11p. При переходе в режим wifi-4,5mbs-10Mhz дальность связи уменьшится до 557 м.

По результатам моделирования составим сводную таблицу (табл. 2):

Таблица 2. Сводная таблица дальности связи для разных режимов

Режим 802.11p	Критическая дальность связи (двойной шаг решётки, (м))
wifi-3mbs-10Mhz	656
wifi-4,5mbs-10Mhz	557
wifi-6mbs-10Mhz	512
wifi-9mbs-10Mhz	371
wifi-12mbs-10Mhz	248
wifi-18mbs-10Mhz	173
wifi-24mbs-10Mhz	105
wifi-27mbs-10Mhz	87

Исследование сходимости протокола OLSR в зависимости от размеров и размерности решётки

Исследования проводились для минимальной скорости передачи данных (режим wifi-3mbs-10Mhz). В дальнейших экспериментах пересылался 1 пакет размером 1000 байт по диагонали с одного конца решётки на другой в решётках разного размера и размерности. Исследования проводились следующим образом: контролировалась доставка пакета для решёток разной размерности, варьировались время запуска пакета (время, отводимое для сходимости протокола OLSR) и шаг решётки. Исследования проводились с точностью до 1 м и 1 сек. Целью исследований было определение временных условий доставки пакета в зависимости от размеров и размерности решёток.

Результаты моделирования показывают, что при увеличении размерности и размеров решётки время доставки (сходимости протокола маршрутизации) будет возрастать. Например, в варианте с решёткой 3×3 на предельной дальности 656 м (двойной шаг решётки) время доставки (фактически, время сходимости OLSR) составляет 11 сек. При уменьшении расстояния до 328 м (шаг решётки 164 м) время доставки падает до 5 сек.

Решётка 2×2. В результате моделирования мы определили, что в сценарии 2×2 есть 3 критических дистанции (double distance), при которых происходит скачок времени сходимости протокола OLSR: 656 (11 сек), 328 (5 сек) и 218 м (0 сек). На расстояниях 1) более 656 м связи нет; 2) от 656 м до 328 м время сходимости 11 сек; 3) менее 328 м до 219 м время сходимости 5 сек; 4) 218 и ниже – время 0.

Решётка 3×3. В сценарии 3×3 три критических дистанции: 656 (11 сек), 328(5 сек), 207(0). На расстояниях 1) более 656 м связи нет, от 656 м до 327 м время сходимости 11 сек; 2) от 328 м до 208 м время сходимости 5 сек; 3) 207 и меньше время сходимости = 0.

В сценарии 4×4 три критических дистанции: 656 (11), 328 (5), 218 (0). Времена сходимости 11, 5, 0 сек.

В сценарии 5×5 четыре критических дистанции: 656(12), 463(11), 232(5), 116(0). Времена сходимости 12, 11, 5, 0 сек.

В сценарии 6×6 четыре критических дистанции: 656(12), 463(11), 164(5), 93(0). Времена сходимости 12, 11, 5, 0 сек.

В сценарии 7×7 четыре критических дистанции: 656(12), 420(11), 131(5), 69(0). Времена сходимости 12, 11, 5, 0 сек.

Сценарии с большей размерностью требуют значительного времени работы симулятора.

Таблица 3. Сводная таблица зависимости времени сходимости протокола OLSR от дальности связи для решёток разной размерности

Размерность решётки	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6	7×7
Критическая дальность (double) (м)	218,328,656	207,328,656	218,328,656	116,232,463,656	93,164,463,656	69,131,420,656
Время сходимости (сек)	0,5,11	0,5,11	0,5,11	0,5,11,12	0,5,11,12	0,5,11,12

Исследование производительности сети в зависимости от интервала передачи и количества передаваемых пакетов на коротких дистанциях

Данные эксперименты проводились на коротких расстояниях, на которых OLSR-маршрутизация не влияет на временные задержки. Целью экспериментов было выяснение возможности передачи интенсивного трафика на небольших расстояниях. Мы будем запускать пакеты в большем количестве, чем 1, и затем будем смотреть, сколько из них дошло в зависимости от временного интервала передачи между пакетами, от количества отправленных пакетов, размеров пакета, размеров решётки и т.п. Определим критические значения временного интервала и как они влияют на производительность.

Количество запускаемых пакетов 10

Исходные данные.

Режим wifi-3mbs-10Mhz. Сеть 2×2, двойная дистанция 10 м, размер пакета 1000 байт, время начала генерации трафика 0.

Результаты моделирования.

При всех двойных интервалах более 0.00022 сек – все 10 пакетов доходят. При уменьшении интервала передачи уменьшается количество доставляемых пакетов. При интервале 0.00021 сек – доставляется 9 пакетов, при 0.00007 сек – 3 пакета. При дальнейшем уменьшении интервала до 0 доставляется всегда 3 пакета.

Исходные данные.

Режим wifi-27mbs-10Mhz. Сеть 2×2, двойная дистанция 10 м, размер пакета 1000 байт, время начала генерации трафика 0, количество запускаемых пакетов 10.

Результаты моделирования.

При всех интервалах более 0.00011 сек – все 10 пакетов доходят. При уменьшении интервала передачи уменьшается количество доставляемых пакетов. При интервале 0.00010 сек

– доставляется 9 пакетов, при 0.00003 сек – 3 пакета. При дальнейшем уменьшении интервала до 0 доставляется всегда 3 пакета. График количества доставленных пакетов в зависимости от интервала представлен на рис. 5. При уменьшении или увеличении размера пакета график доставки пакетов не изменился. От размерности решётки график доставки также не зависит.

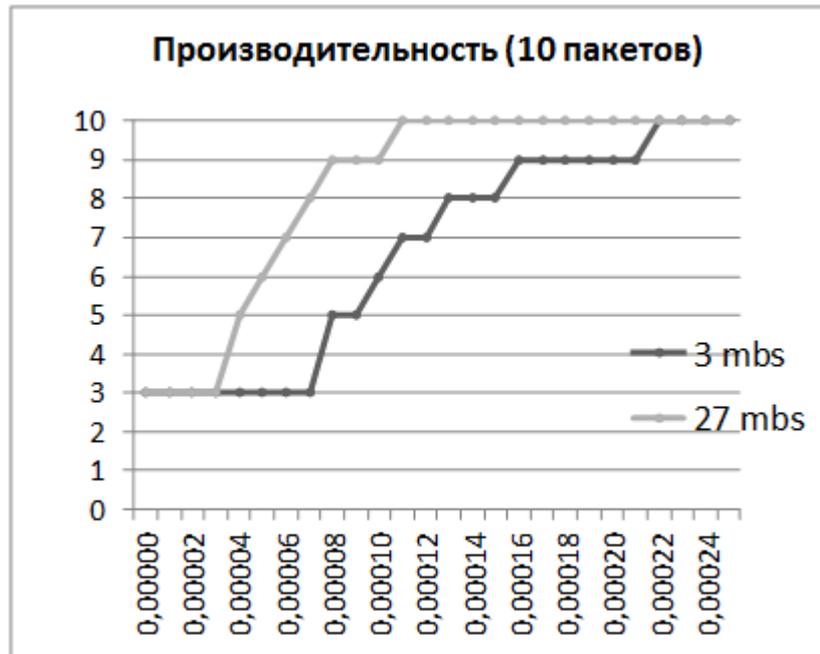


Рис. 5. Количество доставленных пакетов в зависимости от двойного интервала (сек) при запуске 10 пакетов

Количество запускаемых пакетов 100

Исходные данные.

Режим wifi-3mbs-10Mhz. Сеть 2×2, двойная дистанция 10 м, размер пакета 1000 байт, время начала генерации трафика 0.

Результаты моделирования.

При всех двойных интервалах более 0.00022 сек – все 100 пакетов доходят. При интервале 0.00020 сек – доставлено 99 пакетов, при интервал 0.000006 сек – 3 пакета. При дальнейшем уменьшении интервала до 0 доставляется всегда 3 пакета.

Исходные данные.

Режим wifi-27mbs-10Mhz. Сеть 2×2, двойная дистанция 10 м, размер пакета 1000 байт, время начала генерации трафика 0.

Результаты моделирования.

При всех интервалах более 0.00011 сек – все 100 пакетов доходят. При интервале 0.00010 сек – доставлено 99 пакетов, при 0.000003 сек – 3 пакета. При дальнейшем уменьшении интервала до 0 доставляется всегда 3 пакета. График количества доставленных пакетов в зависимости от интервала представлен на рис. 6. При уменьшении или увеличении размера пакета график доставки пакетов не изменился. От размерности решётки график доставки также не зависит.

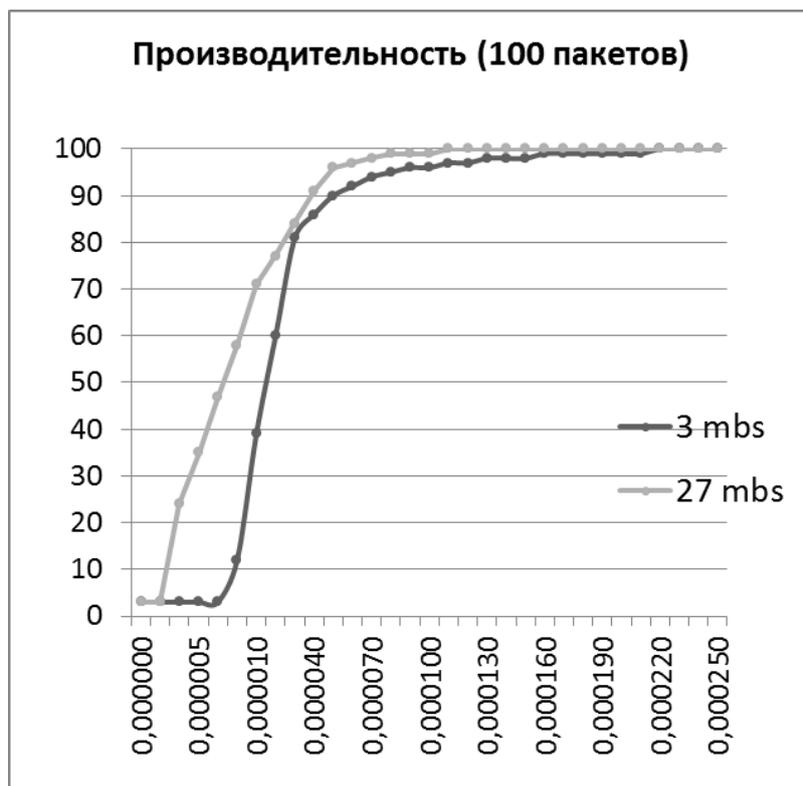


Рис. 6. Количество доставленных пакетов в зависимости от двойного интервала (сек) при запуске 100 пакетов

Моделирование и реальность

Было бы заманчиво воспринимать устройства и каналы, рассматриваемые в нашем моделировании, как реальные и ожидать, что результаты моделирования будут отражать то, что происходит в реальной ad hoc сети. Это не так.

В некоторых случаях достаточно просто сконфигурировать поведение, которое не согласуется с реальностью. Такие ситуации могут случаться часто. Например, вы можете расположить разные узлы в одном месте в одно и то же время. Вы можете сконфигурировать уровень усиления сигнала или шума таким образом, что это будет нарушать законы физики.

В нашем моделировании для того, чтобы понять, успешно доставлен пакет или нет, представлен алгоритм прямой коррекции ошибок (Forward Error Correction) в котором физический уровень может находиться в одном из трёх состояний:

1. TX: передача сигнала
2. RX: получение сигнала
3. IDLE: неактивное состояние.

При получении первого бита нового пакета во время нахождения физического уровня в активном состоянии, полученный пакет отбрасывается. Если физический уровень находится в неактивном состоянии (IDLE), система моделирования рассчитывает энергию входного сигнала первого бита нового сигнала и сравнивает её с пороговым значением чувствительности сигнала (Energy Detection threshold). Если энергия входного сигнала выше, то физический уровень переходит в состояние получения сигнала (RX) и ожидает событие получения последнего бита пересылаемого пакета. В обратном случае пакет отбрасывается.

Энергия получаемого сигнала принимается равной 0 за пределами пространственного интервала доставки пакетов и высчитывается из мощности передаваемого сигнала энергии в модели пространственного рассеяния сигнала, в которой пространственный интервал до-

ставки определяется экспоненциальным затуханием, равным 3.

Когда последний бит передаваемого пакета будет получен, система моделирования будет высчитывать вероятность того, что пакет получен с ошибками для того, чтобы решить, принят пакет успешно или нет (случайное число выбирается из нормального распределения и сравнивается с вероятностью возникновения ошибок).

Таким образом, введённые в систему приближения и упрощения не дают нам реальную картину мира. Поэтому система ns-3 даёт нам всего лишь гибкую основу для экспериментов. Необходимо понимать, что вы хотите от системы, чтобы быть уверенными, что моделирование, которое вы сделали, имеет какой-то смысл и связь с действительностью.

Заключение

Для ad hoc сетей стандарта 802.11p, образованных автомобилями, необходимы характеристики, способные обеспечить решение задач, поставленных перед разработчиками ИТС. В первую очередь это вопросы 1) безопасности и 2) оптимизации дорожного движения.

1) Проблемы безопасности дорожного движения становятся наиболее актуальными при взаимодействии на коротких дистанциях в плотной среде городского окружения. В этом случае нам становятся наиболее важными такие параметры, как время доставки и количество доставленных пакетов.

Моделирование процесса доставки пакетов на коротких дистанциях показало, что доставка пакетов осуществляется в микросекундном диапазоне времени. При низкоскоростном режиме работы протокола wifi-3mbs-10Mhz доставка второго пакета в нашем моделировании была осуществлена за 0.002888 сек. За это время автомобиль, движущийся со скоростью 100 км/час проедет 8 см, что является вполне удовлетворительным показателем для работы приложений активной безопасности.

Исследование производительности сети в зависимости от интервала передачи и количества передаваемых пакетов на коротких дистанциях показало, что для 100% производительности интервал передачи пакетов должен быть не менее 0.00022 сек для режима wifi-3mbs-10Mhz и 0.00011 сек для режима wifi-27mbs-10Mhz. Эти временные границы интервала передач необходимо соблюдать для работы приложений безопасности движения. Для всех режимов удовлетворительная производительность (около 90%) согласно представленному графику (рис. 6) наблюдается и при меньшем интервале 0.00004 сек. От размера пакетов и размерности решётки график доставки не зависит.

2) Проблемы оптимизации дорожного движения связаны с такими параметрами, как критическая дальность связи, время доставки сообщений в больших решётках.

Определение критической дальности связи для разных режимов показало, что передача данных (доставка пакетов) в сети возможна на максимальном расстоянии 328 м (double distance 656) между узлами решётки в режиме wifi-3mbs-10Mhz. Критическая дальность связи уменьшается в зависимости от скорости передачи данных и составляет 87 м для режима wifi-27mbs-10Mhz.

Исследование сходимости протокола OLSR в зависимости от размеров и размерности решётки показало, что существуют критические дистанции, при которых протокол маршрутизации OLSR начинает вносить значительные временные задержки в процесс передачи данных. Например, для решётки 2×2 критическим является расстояние между узлами 109 м (двойное расстояние 218), при увеличении которого для доставки пакетов требуется 5 сек

для сходимости протокола маршрутизации. На расстояниях 109 м и менее доставка происходит «мгновенно». Чем больше размерность решётки, тем меньше расстояние, необходимое для доставки пакетов без задержки. Для решётки 7×7 оно составляет 34.5 м. При дальнейшем увеличении расстояния между узлами время доставки (сходимости OLSR) увеличивается дискретно до 11 и 12 сек.

Все приведённые вычисления для статических 2-мерных решёток являются приближёнными к реальной ситуации. В реальной обстановке все автомобили движутся с разными скоростями, находятся на разных расстояниях друг от друга и передают данные с разными скоростями. Однако данная работа будет важна для понимания критических параметров сетевого взаимодействия и дальнейшего проектирования ad hoc сетей стандарта 802.11p. Следующим этапом в проведении исследований станет сетевое моделирование в мобильной среде.

Литература

1. SAFESPOT INTEGRATED PROJECT - IST-4-026963-IP.DELIVERABLE. http://www.safespot-eu.org/documents/D1.2.1_Vehicle_probe_use_case-and_test_scenarios.pdf
2. Optimized Link State Routing Protocol, http://en.wikipedia.org/wiki/Optimized_Link_State_Routing_Protocol
3. *Haerri Jerome, Filali Fethi, Bonnet Christian* Performance Comparison of AODV and OLSR in VANETs Urban Environments under Realistic Mobility Patterns.
4. *Huhtonen Aleksandr* Comparing AODV and OLSR Routing Protocols. 2004.
5. *Sklyarenko Georgy* AODV Routing Protocol. 2006. July.
6. *Ghannay Sana, Gammar Sonia Mettali, Kamoun Farouk* Comparison of Proposed Path Selection Protocols for IEEE 802.11s WLAN Mesh Networks. 2010.
7. *S. Kurkowski, T. Camp, and M. Colagrosso* «Manet simulation studies: the incredible», ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 9, no. 4, pp. 50–61, 2005.
8. NS-3 project web-site, <http://www.nsnam.org/>
9. IEEE P802.11p/D3.0, «Draft Amendment to Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements -- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environment», 2007.
10. GNU Operating System, <http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>
11. NS-3-DEV/File revision, <http://code.nsnam.org/ns-3-dev/file/tip/examples/wireless/wifi-simple-adhoc-grid.cc>

Статья поступила в редакцию 24.11.2011

Хараев Владимир Юрьевич

аспирант, преподаватель кафедры телекоммуникационных систем БФ СибГУТИ, (670005, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Трубочеева, 152) тел. (3012) 30-54-71, e-mail: sibintek_rb@mail.ru.

Research of Ad-Hoc Network Interaction Parameters for 802.11p Protocol.**V. Kharaev**

In this research we will be interested in key parameters of data transmission between hosts in static ad-hoc networks of various dimensions. Such researches are important for understanding the basic characteristics of v2v-interaction in Intelligent Transport Systems. The key role in data exchange between cars in international projects of ITS realization is known to belong to the 802.11p protocol. For ad-hoc 802.11p networks, formed by cars, the characteristics capable to provide the decision of the ITS problems are necessary. First of all it is safety issues and traffic optimization. This article is devoted to the study of such characteristics as speed of delivery and quantity of the delivered packets in the conditions of communication density, critical operating distance and time of message delivery at average distances.

Keywords: ITS, MANET, vehicle, v2v, ad-hoc networks, Wi-Fi, NS-3, OLSR, IEEE 802.11p.