

Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

УДК 004.77

В.В. Глазунов, М.А. Курочкин

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ СТЕНД МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОТОКОЛОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ СЕТЕВОГО УРОВНЯ В МОБИЛЬНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ СЕТИ

V.V. Glazunov, M.A. Kurochkin

HARDWARE-SOFTWARE MODELLING STAND OF DYNAMIC ROUTING PROTOCOLS NETWORK LAYER IN A MOBILE HETEROGENEOUS NETWORK

Изучены характеристики протоколов динамической маршрутизации при моделировании движения мобильного объекта в городской среде. Среда моделирования позволяет изменять объем передаваемых данных, скорость передачи, характер и интенсивность отказов. Исследования проведены для протоколов OLSR и В.А.Т.М.А.Н. Полученные результаты позволили сформулировать оптимальные условия использования этих протоколов на борту автомобиля.

OLSR; В.А.Т.М.А.Н.; MESH-СЕТИ; ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ; МОДЕЛИРОВАНИЕ; ПРОТОКОЛЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ; СТЕНД.

This paper investigates the characteristics of dynamic routing protocols in the simulation of vehicles in the urban environment. Simulation environment allows you to change the amount of transmitted data, the transmission rate, the parameters and intensity of failures. Research conducted for the protocols OLSR and В.А.Т.М.А.Н. The obtained results allowed us to formulate optimum conditions of use of these protocols on board the vehicle.

OLSR; В.А.Т.М.А.Н.; MESH-NETWORK; INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS; SIMULATION; DYNAMIC ROUTING PROTOCOLS; STAND.

Использование беспроводных технологий передачи данных в мобильных транспортных сетях создает основу для развития интеллектуальных транспортных систем. Расширение спектра информационных услуг, предоставляемых сервисным центрам, службам управления движением, водителям и пассажирам, позволяет повысить безопасность участников движения, увеличить пропускную способность автомагистралей, повысить комфорт пассажирам.

В настоящее время ведущими автомобильными компаниями проводятся работы

по установке на борту автомобиля телематических устройств, позволяющих поддерживать непрерывную двухнаправленную цифровую связь с другими участниками движения и дорожными службами. Ограничением таких устройств является использование одного канала передачи данных, поэтому при повышении объема передаваемых данных скорость передачи резко падает или соединение абонентов разрывается [1]. Решением этой проблемы является расширение количества поддерживаемых бортовым телематическим устройством технологий

передачи данных, что обеспечивает высокую надежность обмена данными между абонентами. В этом случае любой автомобиль может выступать ретранслятором данных, становясь мультипротокольным узлом. В мультипротокольном узле интегрируются локальные и глобальные технологии передачи данных, такие как LTE, UMTS, Wi-Fi, DSRC, Bluetooth, ZigBee. Совокупность подобных технологий составляет мобильную гетерогенную сеть транспортных средств.

Главная проблема маршрутизации данных в мобильных гетерогенных сетях транспортных средств — высокая динамика топологии сети, что требует постоянной актуализации путей передачи данных между мобильными абонентами и инфраструктурой. Для решения этой задачи используются протоколы динамической маршрутизации сетевого уровня, разработанные специально для мобильных сетей, к которым относятся V.A.T.M.A.N., OLSR, AODV, DSDV.

В условиях высокой динамики и одно-временного применения нескольких технологий передачи данных становится актуальным исследование времени конвергенции сети, т. е. реакции протокола на изменение топологии сети.

Особо остро проблема конвергенции сети встанет при массовом использовании мультипротокольных узлов в перспективных интеллектуальных транспортных системах, что обуславливает необходимость выработки рекомендаций о применении протоколов динамической маршрутизации сетевого уровня.

Исследование характеристик протоколов позволит обосновать выбор протоколов маршрутизации в мобильных динамичных интеллектуальных транспортных системах.

Состояние проблемы

Основными работами, связанными с исследованием протоколов динамической маршрутизации, являются [2, 3]. Авторы данных работ рассматривают низкоуровневые характеристики протоколов в Ad-Hoc сетях, такие как объем служебного трафика при передаче данных и время задержки при передаче служебных пакетов.

В [2] проведено сравнение протоколов

OLSR и V.A.T.M.A.N. по критериям среднего времени передачи файлов и отправки множества ICMP запросов, использованы экспериментальные Wi-Fi сети.

В [3] проверено качество доставки сообщений, время восстановления (конвергенции) сети и нагрузка на сеть в процессе работы протоколов OLSR, V.A.T.M.A.N. и DSR в мобильной сети внутри здания.

В современных интеллектуальных транспортных системах между мобильными абонентами реализуются около десяти сценариев обмена данными [4]. В табл. 1 приведены предельные объемы данных для наиболее распространенных сценариев.

Интервал предельных значений объемов файлов составляет 10 КВ–100 МВ. Так, например, размер данных:

информационных сообщений, таких как e-Call, геоинформация и сервисные сообщения не превышает 10 КВ;

текстовых документов, почтовых сообщений и гипертекстовых файлов находится в диапазоне от 10 до 100 КВ;

файлов графических данных медиаконтента или обновления системного ПО составляет от 1 до 10 МВ;

файлов с аудио и видео, обновлений программ и данных пользователя, лежит в диапазоне 10–100 МВ;

Таким образом, к типичным объемам данных следует отнести следующие объемы: 10 КВ, 100 КВ, 1 МВ, 10 МВ, 100 МВ.

Фактическая скорость передачи данных по каналам связи существенно отличается от максимально заявленной для конкретной технологии. На практике она ограничивается поставщиками услуг, аппаратными настройками сетевого оборудования и программными установками серверной инфраструктуры.

Кроме этого скорость передачи в конкретный момент времени зависит от загрузки канала, которая носит случайный характер и в свою очередь зависит от активности пользователей. Поэтому представляет интерес исследование временных характеристик протоколов маршрутизации для типовых объемов данных и реальных скоростей передачи.

Таблица 1

Сценарии обмена данными

| Сценарии обмена данными | Предельный объем, КБ | Частота обновления |
|---|----------------------------------|--------------------|
| Сообщение о погодных условиях, о состоянии дорожного покрытия, об оперативных изменениях в транспортной сети | 10–100 | Событийно |
| Сбор и отображение данных о местоположении автомобилей других участников движения | 10–10 ³ | Постоянно |
| Автоматическое сохранение треков движения транспортного средства с видеофиксацией ключевых точек движения по времени или по событию | 10–10 ³ | Постоянно |
| Передача сообщений об аварийных ситуациях | 10–100 | Событийно |
| Дистанционная загрузка новых версий программного обеспечения (ПО) | 10 ³ –10 ⁵ | Эпизодически |
| Аудио- и видеоконсультации водителя о техническом состоянии автомобиля | 10 ³ –10 ⁵ | Эпизодически |
| Телекоммуникационная среда для пассажиров автомобилей (медиа контент) | 10 ⁴ –10 ⁵ | Постоянно |
| Сообщения о необходимости прохождения технических осмотров или срочного ремонта | 100–10 ³ | Событийно |
| Дистанционное управление агрегатами автомобиля | 10–10 ³ | Событийно |

Условия экспериментов

Вариативность загрузки канала LTE оставляет абонента в условиях неопределенности текущей скорости доступа к файлам и сервисам. Поэтому для сокращения времени информационного обмена необходимо иметь альтернативные пути доставки файлов и доступа к сервисам через цепочки ретрансляторов.

Для данного исследования выбраны следующие технологии доступа по каналам связи:

- LTE обеспечивает соединение с облачной средой и сервисами доступа к файлам;
- Mesh обеспечивает альтернативный вариант взаимодействия между мобильными абонентами и соединение с облачной средой посредством ретрансляторов [5].

Объектами исследования являются протоколы динамической маршрутизации [6] OLSR и В.А.Т.М.А.Н. ввиду их непосредственной ориентации на использование в

динамических мобильных сетях. Эти протоколы разработаны для мобильных сетей и позволяют находить маршруты передачи данных после реконфигурации сети. В экспериментах рассмотрены реализации двух классов протоколов: В.А.Т.М.А.Н. [7] – из класса протоколов на основе расчета векторов расстояний и OLSR [8] – на основе анализа состояния канала. Различия состоят в том, что протокол OLSR строит полный путь до адресата, а протокол В.А.Т.М.А.Н. – рассчитывает вектор расстояний и на его основе выбирает следующий переход. Такой подход позволяет исследовать различие времени передачи файлов разного размера на разных скоростях в условиях наличия или отсутствия помех.

В экспериментах исследованы две технологии обмена сообщениями: LTE и Mesh, т. к. наиболее распространенные среди мобильных абонентов.

Передача данных между сервером и абонентами осуществляется с помощью протоколов прикладного уровня: ftp и http [9].

Это классические протоколы, доступные во многих web-приложениях, используются для получения гипертекстовых данных, мультимедийных, графических данных.

Локальные технологии при подключении мобильных абонентов регламентируют устойчивый и неустойчивый режим соединений.

Устойчивое соединение задается следующими параметрами: автомобиль неподвижен; установлено подключение автомобиля к мобильной локальной сети, например, посредством Wi-Fi.

Неустойчивое соединение: автомобиль движется от одной точки доступа к другой. В этом случае возникают интервалы отсутствия связи.

Наибольший интерес для специалистов представляет исследование особенностей неустойчивого режима соединений посредством Wi-Fi. Для этой цели разработан программно-аппаратный стенд моделирования протоколов динамической маршрутизации сетевого уровня.

Архитектура программно-аппаратного стенда

Стенд состоит из имитатора облачных сервисов и мультипротокольных подвижных узлов (МПУ). Имитатор сервисов и МПУ соединены беспроводными сетями технологий LTE, Mesh, DSRC, Wi-Fi и Bluetooth, что позволяет объединять в МПУ и имитатор в гетерогенные мобильные сети.

Стенд обеспечивает исследование свойств информационного взаимодействия транспортных средств с облачными сервисами, дорожной инфраструктурой и между собой в нескольких беспроводных сетях. Аппаратное и программное обеспечение стенда позволяет проводить натурные эксперименты с целью исследования характеристик мобильных одноранговых сетей передачи данных, использования транспортными средствами облачных сервисов и обмена данными с объектами дорожной инфраструктуры. Стенд обеспечивает расширяемость программной компоненты относительно числа применяемых протоколов передачи данных, технологий беспроводной передачи данных и масштабируемость относительно числа облачных сервисов и

мультипротокольных узлов.

Фрагмент структуры аппаратной части стенда, необходимой для постановки эксперимента, приведен на рис. 1.

Стенд состоит из двух блоков МПУ, имитатора нагрузки каналов, точки доступа Wi-Fi. Имитатор нагрузки предоставляет доступ к файлам абонентам мобильной сети. Каждый блок МПУ обеспечивает работу с двумя интерфейсами (Mesh и Wi-Fi или Mesh и LTE), что позволяет организовать обмен данными в различных направлениях и осуществлять передачу данных по различным технологиям. МПУ-1 реализует клиента, который подключается к имитатору нагрузки. МПУ-2 – ретранслятор, связывающий МПУ-1 и имитатор нагрузки.

Программное обеспечение стенда реализует децентрализованное управление синхронизацией времени, моментами запуска и останова клиентов и серверов служб, генерацию пользовательского трафика, выполнение процедур настройки протоколов динамической маршрутизации.

Настройка программной части стенда обеспечивает выполнение сценариев движения мобильных абонентов, управление потоками передачи данных, моделирование помех, выбор протоколов маршрутизации и настройку характеристик беспроводных сетей связи, заявленных в проекте.

Оборудование тестового стенда работает под управлением операционной системы Debian GNU/Linux версии 7.4/Kernel 3.2.0-4. Для тестирования в различных режимах применяется как специализированное ПО (mgen – приложение, позволяющее генерировать сетевой трафик с заданными параметрами, и netflow – приложение для анализа и визуализации результатов тестирования), так и повсеместно используемые веб- и ftp-серверы: Lighttpd 1.4.31 и Vsftpd 2.3.5. Управление характеристиками канала выполняет программный пакет iptables 1.4.14. Клиентская сторона поддерживается FTP/HTTP Client: wget 1.13.4. Параметры конфигурации указанных приложений задаются в заранее подготовленных файлах тестовых сценариев, они позволяют моделировать различные повседневные модели взаимодействия подвижных объектов

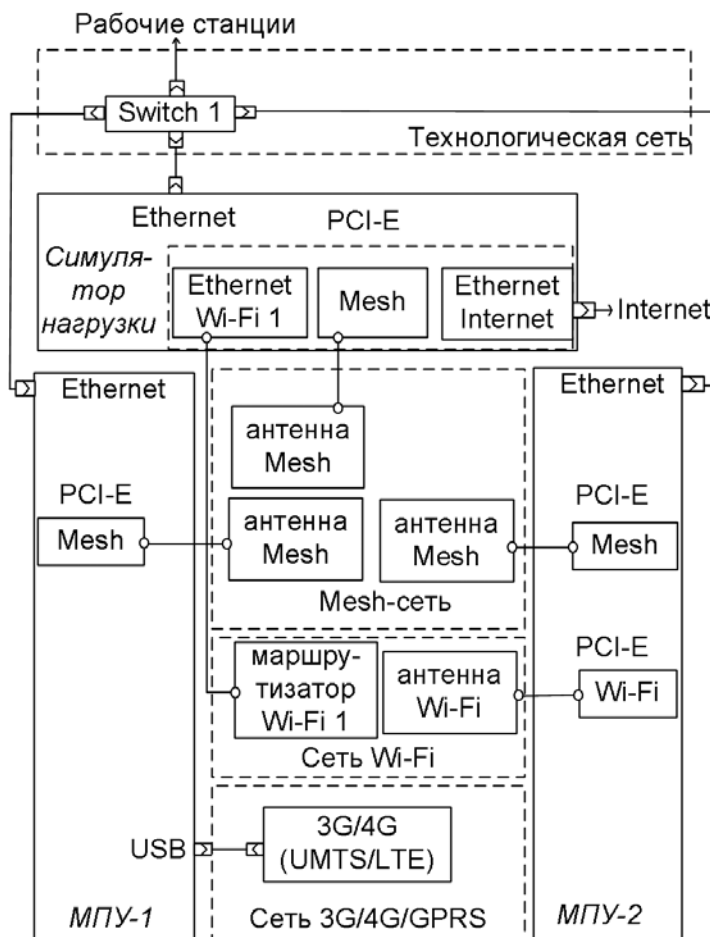


Рис. 1. Фрагмент структуры аппаратной части стенда

между собой и с облачной средой. В рамках тестовых сценариев изменяются правила доступности сетевых интерфейсов в зависимости от момента времени, величины потерь в различных каналах, пропускные способности в нисходящем/восходящем направлениях, тип рассылки (много- или одноадресная), транспортный протокол (TCP или UDP), размер сетевого пакета, прикладной протокол (HTTP, FTP). Программное обеспечение расположено на сетевых дисках, доступ к нему узлами осуществляется через NFS. Настройки ПО находятся в конфигурационных файлах, файлы загружаются на основе переменной $\{HOSTNAME\}$, содержащей имя узла, на котором был запущен данный модуль. Все участники эксперимента используют однотипное ПО. Настройки характеристик узла меняются за счет изменения значений пара-

метров модели и ветвей выполнения (определяется именем узла).

Для реализации сценариев движения мобильных абонентов, управления потоками передачи данных, моделирования помех, выбора протоколов маршрутизации, настройки характеристик каналов связи реализована архитектура ПО приведенная на рис. 2.

Модуль настройки сетевых интерфейсов назначает IP адреса, устанавливает VPN соединения, поднимает внутренние и внешние интерфейсы узлов.

Модуль настройки маршрутизации настраивает параметры протоколов динамической маршрутизации, добавляет плавающие статические маршруты, запускает службы (демоны) протоколов динамической маршрутизации. Настройки протоколов динамической маршрутизации находятся

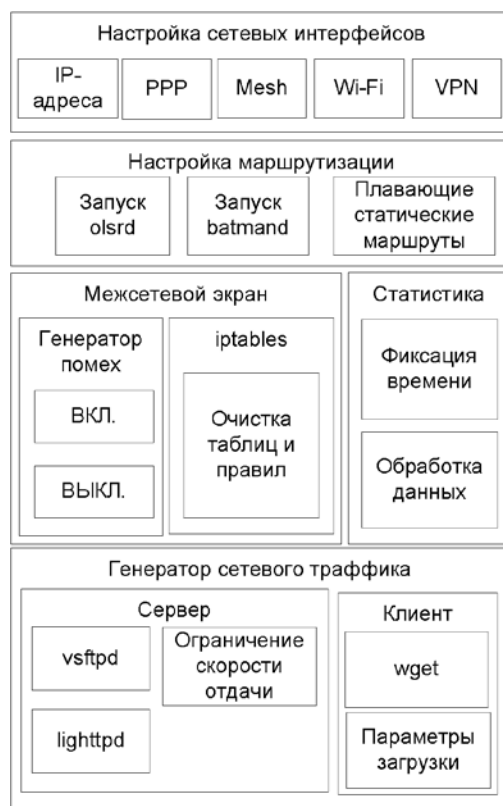


Рис. 2. Архитектура программного обеспечения стенда

в разнесенных конфигурационных файлах, файлы загружаются на основе переменной $\{HOSTNAME\}$, содержащей имя узла, на котором был запущен данный модуль.

Модуль генерации сетевого трафика запускает файловые службы (демоны), такие как FTP, HTTP. На имитаторе нагрузки запускаются серверные части этих служб. На клиентах (MPU) запускается FTP, HTTP клиент для загрузки файлов выбранного размера; файлы должны быть предварительно сгенерированы на серверной части. Дополнительно осуществляется поддержка генерации трафика транспортного уровня через mgen: TCP, UDP. В случае использования UDP трафика обеспечивается возможность выбора многоадресного или широковещательного типов трафика.

Модуль фаервола создает помехи на канальном уровне, что предотвращает распространение маршрутов и данных в выбранном канале связи. Данный модуль используется модулем генератора помех для создания мобильной схемы движения узла.

Модуль позволяет задать статистические, либо вероятностные модели помех в трафике, т. е. отбрасывание каждого n -го пакета, или вероятность прохождения пакета через фильтр. Механизм реализован через модуль statistics пакетного фильтра iptables. Позволяет дополнительно задавать правила защиты узлов, когда эксперимент идет с использованием общедоступных проводных или беспроводных каналов связи.

Модуль завершения эксперимента и сбора статистики записывает время скачивания файла, учитывая время восстановления после разрыва связи. Весь проходящий через узлы трафик учитывается при помощи модуля netflow, состоящего из нескольких компонентов: ядерной части (ipt-netflow), и пользовательского демона (коллектора), производящего сбор и агрегацию данных по потокам. Кроме этого, модуль включает средства агрегации данных для вычисления численных характеристик для построения графических зависимостей. После завершения эксперимента модуль выполняет

удаленное завершение на других узлах сети (на тех, где службы не могут остановиться, т. к. момент останова неизвестен). Чтобы предотвратить влияние выполнения служебных команд на численные показатели измерений, используется служебный канал передачи данных. После чего выполняется фиксация всех измерений netflow и минутное ожидание, чтобы завершился максимальный цикл сбора данных через netflow.

Разработанная методика проведения эксперимента предусматривает следующие этапы:

1. Настройка интерфейсов (IP-адреса, VPN-соединения, Mesh-сеть).
2. Настройка файрвола.
3. Установка протокола динамической маршрутизации.
4. Задание модели работоспособности Mesh-канала.
5. Установка протокола прикладного уровня.
6. Задание размера файла, содержащего сообщение.
7. Задание скорости отдачи сервера.
8. Задание числа итераций проведения эксперимента.

Экспериментальные исследования проводились с целью определения времени передачи файлов при использовании протоколов маршрутизации OLSR и B.A.T.M.A.N. [10] в условии помех, соответствующих движению автомобиля в городе. Смоделируем ситуацию, когда один автомобиль, имея выделенный канал LTE, периодически подключается к Mesh-сети, у которой есть высокоскоростной шлюз в сети Интернет. Автомобиль загружает на борт файлы обновления системного и пользовательского ПО. Для моделирования процесса загрузки файлов от сервера к клиенту были выбра-

ны протоколы FTP и HTTP, как наиболее распространенные для этого приложения. В экспериментах использовались два альтернативных канала для получения пакетов — LTE и Mesh. Приоритетным направлением для скачки файла выбран канал через Mesh-сеть, как более быстрый. Изменяемые параметры экспериментов приведены в табл. 2.

Интервалы отправки пакетов приветствия для протоколов OLSR и B.A.T.M.A.N. установлены в секунду.

В ходе эксперимента измеряется конечное время передачи файлов для протоколов FTP и HTTP. Модель генерации помех в Mesh-сети приведена для случая движения автомобиля по городской трассе и соответствует движению автомобиля между перекрестками со скоростью 60 км/ч. Модель представлена чередованием интервалов времени устойчивой и неустойчивой связи. Один цикл равен 60 с, что соответствует участку пути в километр.

Первый интервал кратковременного отключения канала связи на 1 с иллюстрирует ситуацию подключения к новой точки доступа. Следующие 7 с автомобиль движется в диапазоне действия новой точки доступа. Далее сигнал от всех соседей пропадает, такая ситуация может иллюстрировать попадание в тоннель или заезд на территорию с отсутствующим покрытием технологией 802.11s. После чего появляется зона уверенного приема с несколькими вариантами доступа к сети, которая длится 250 м (15 с). После чего происходит кратковременная потеря связи на более короткий промежуток времени (3 с). В конце выполнений цикл симуляции повторяется.

Предлагаемая модель работоспособности соответствует режиму работы протоколов динамической маршрутизации и

Таблица 2

Входные экспериментальные данные

| Параметр | Значение |
|--------------------------|--|
| Протокол маршрутизации | OLSR, B.A.T.M.A.N. |
| Размеры файлов | 10 KB, 100 KB, 1 MB, 10 MB, 100 MB |
| Скорость отдачи сервера | 128 Кбит/с, 1024 Кбит/с, 11 Мбит/с (Unlimited) |
| Протоколы загрузки файла | FTP, HTTP |

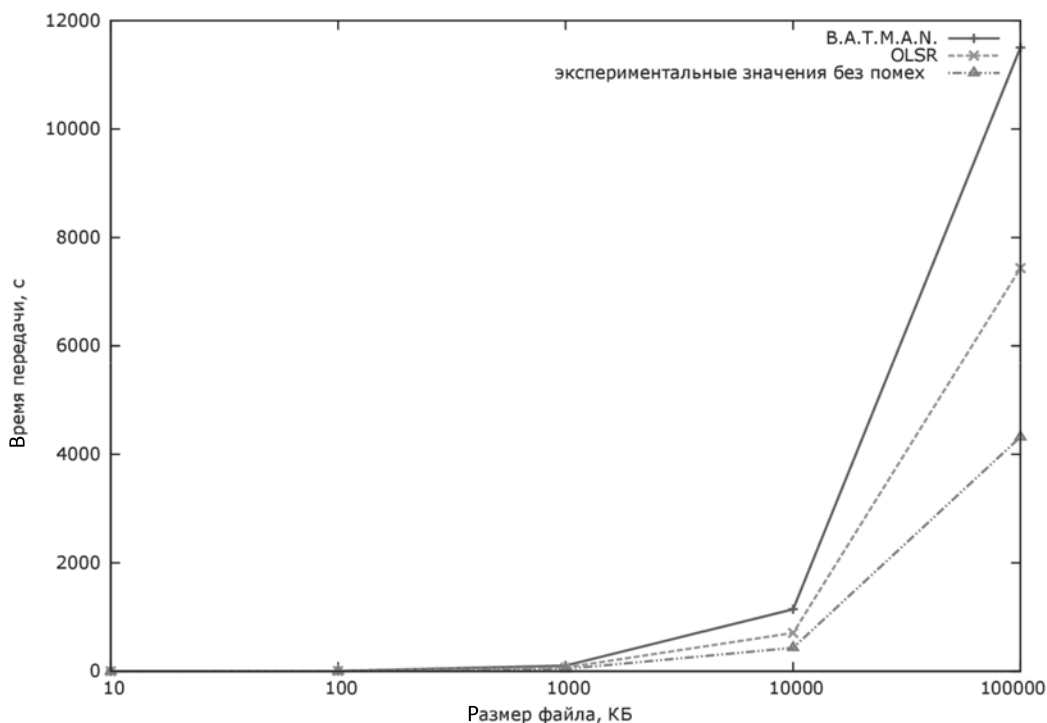


Рис. 3. Зависимость времени передачи файла от размера, для протоколов V.A.T.M.A.N. и OLSR для скорости отдачи файла 128 Кбит/с (первая серия)

передачи данных в условиях повышенной нестабильности сетевой топологии.

В процессе работы проведено три серии экспериментов для каждой скорости. В каждой серии проведено по 400 измерений. На рис. 3–5 приведены графические представления результатов этих экспериментов. Идеальный вариант в условиях отсутствия помех, где не производится перестройка маршрутов, представлен на графиках как «экспериментальные значения без помех» и является показателем того, насколько работа протоколов маршрутизации отличается от идеального случая.

Результаты первой серии показывают динамику передачи данных на медленных скоростях (128 Кбит/с). Такая скорость характерна для передачи больших объемов данных, включающих в себя информацию о дорожной сети и других абонентах. На графике изображены зависимости времени передачи данных по протоколу http от размера файла при использовании протокола динамической маршрутизации V.A.T.M.A.N. и OLSR, а также идеальный вариант передачи по Mesh-сети без помех, создаваемых

схемой движения. По результатам эксперимента протокол динамической маршрутизации OLSR продемонстрировал лучшие показатели по сравнению с протоколом V.A.T.M.A.N. При передаче больших типов данных (более 10 МВ) выигрыш в скорости передачи составляет до 35 %. Это связано с тем, что количество помех, возникающих во время скачки самого файла, возрастает пропорционально размеру файла и скорости передачи. Следовательно, в таком случае необходимо как можно быстрее переключиться на альтернативный канал передачи, не ожидая восстановления основного канала связи, т. к. время простоя будет существенно отражаться на объеме передаваемых данных. Протокол V.A.T.M.A.N. наоборот ожидает восстановления работоспособности канала по основному каналу связи, не удаляя путь из таблицы маршрутизации. Дополнительно установлено, что на низких скоростях передачи данных (128 Кбит/с) по результатам эксперимента для больших файлов (более 10 МВ) рекомендуемым протоколом уровня приложений является протокол http, демонстрирующий время пере-

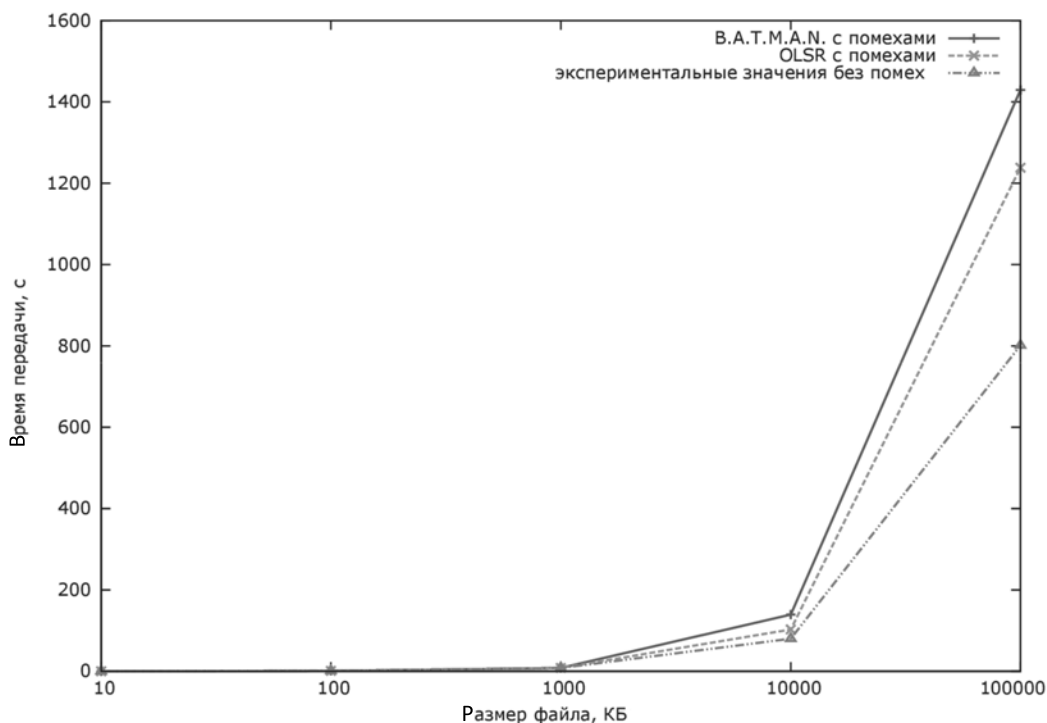


Рис. 4. Зависимость времени передачи файла от размера, для протоколов V.A.T.M.A.N. и OLSR для скорости отдачи файла 1024 Кбит/с (вторая серия)

дачи ниже на 10–30 %. Это связано с тем, что в протоколе http используется меньшее количество команд управления, которые должны быть выполнены до начала загрузки файла, а при пропадании связи (возникновении помех) и докачке файла протокол обязан выполнять эти команды управления повторно. Для скорости отдачи файла 1024 Кбит/с.

Результаты второй серии показывают динамику передачи данных на средних скоростях (1024 Кбит/с). Такая скорость характерна для передачи больших объемов данных, включающих в себя веб-трафик, онлайн-конференции. На графике изображены зависимости времени передачи данных по протоколу http от размера файла при использовании протокола динамической маршрутизации V.A.T.M.A.N. и OLSR, а также идеальный вариант передачи по Mesh-сети без помех, создаваемых схемой движения. По результатам эксперимента протокол динамической маршрутизации OLSR продемонстрировал лучшие показатели по сравнению с протоколом V.A.T.M.A.N., при передаче больших типов

данных (более 10 МВ) выигрыш в скорости передачи составляет до 20 %. Это связано с тем, что количество помех, возникающих во время скачки самого файла, возрастает пропорционально размеру файла и скорости передачи.

Результаты третьей серии показывают динамику передачи данных на максимально возможных скоростях для Mesh-сети (около 11 Мбит/с). Такая скорость характерна для передачи больших объемов данных, включающих в себя мультимедийные данные и обновления. На графике изображены зависимости времени передачи данных по протоколу http от размера файла при использовании протокола динамической маршрутизации V.A.T.M.A.N. и OLSR, а также идеальный вариант передачи по Mesh-сети без помех, создаваемых схемой движения. По результатам эксперимента протокол динамической маршрутизации V.A.T.M.A.N. продемонстрировал лучшие показатели по сравнению с протоколом OLSR, при передаче больших типов данных (более 10 МВ), выигрыш в скорости передачи составляет до 50 %. Это связано

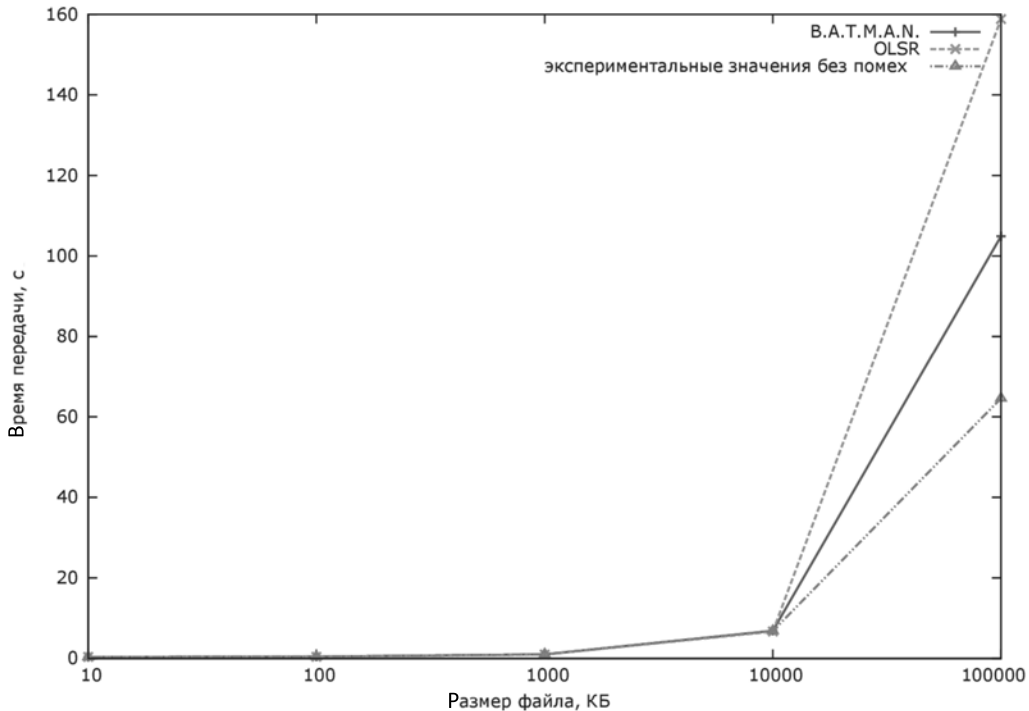


Рис. 5. Зависимость времени передачи файла от размера, для протоколов B.A.T.M.A.N. и OLSR для скорости отдачи файла 11 Мбит/с (третья серия)

с тем, что сам протокол ориентирован на восстанавливающиеся связи (частые прерывания, но восстановление идет по тому же пути), следовательно существующий путь даже после пропадания соседа не удаляется из таблицы маршрутизации, а остается активным. Таким образом, за время возникновения помех маршрут передачи данных не перестраивается, что не требует дополнительных временных затрат на перерасчет маршрута при повторном появлении связи, как происходит в случае использования протокола OLSR.

Результаты трех серий экспериментов показали, что при отправке небольших пакетов данных, в независимости от выбранного протокола динамической маршрутизации, доставка происходит за короткие промежутки времени даже при низких скоростях каналов связи либо ограничениях сервера отправки данных. Это позволяет организовать оповещение об экстренных событиях eCall либо сбор статистических данных с автомобиля уже с использованием текущей инфраструктуры сети.

Разработаны архитектура программно-аппаратного стенда исследования временных характеристик протоколов маршрутизации и методика проведения экспериментов, определены параметры проведенных экспериментов. Проведенные на стенде эксперименты позволили оценить применимость различных протоколов динамической маршрутизации в условиях движения мобильного объекта в городской среде для разных объемов данных.

Наилучшим протоколом динамической маршрутизации на низких скоростях (128 Кбит/с) при передаче файлов более 10 МВ является протокол OLSR, разница во времени скачивания файла составляет до 35 %. На низких скоростях передачи данных (128 Кбит/с) рекомендуемым протоколом уровня приложений является протокол http, демонстрирующий время передачи ниже на 10–30 %.

Для средних скоростей (1 Мбит/с) и файлов более 10 МВ наилучшим также является протокол OLSR, выигрыш по време-

ни скачивания файла составляет до 20 %. На высоких скоростях (11 Мбит/с) передачи данных предпочтительнее использовать протокол динамической маршрутизации В.А.Т.М.А.Н., при его использовании выигрыш по времени скачивания файла составляет до 50 %.

По результатам экспериментов мож-

но сделать вывод, что В.А.Т.М.А.Н. менее предпочтителен для часто меняющейся топологии. Протокол больше ориентирован на восстанавливающиеся связи (частые прерывания, но восстановление идет по тому же пути), поэтому его предпочтительнее использовать на высоких скоростях передачи данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазунов В.В., Курочкин М.А., Попов С.Г. Проблемы построения интеллектуальной транспортной сети //Высокие интеллектуальные технологии и инновации в национальных исследовательских университетах: Матер. междунар. науч.-метод. конф. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2013. Т. 1. С. 32–34.
2. Murray D., Dixon M., Koziniec T. An experimental comparison of routing protocols in multi-hop ad hoc networks // Telecommunication Networks and Applications Conf. 2010. Pp. 159–164.
3. Abolhasan M., Hagelstein B., Wang. Real-world performance of current proactive multi-hop mesh protocols // Communications, 15th Asia-Pacific Conf. 2009. Pp. 44–47.
4. Glazunov V., Kurochkin L., Kurochkin M., Popov S. Instrumental environment of multi-protocol cloud-oriented vehicular mesh network // ICINCO. 2013. Vol. 1. Pp. 568–574.
5. Chakraborty S., Nandi S. IEEE 802.11s Mesh Backbone for Vehicular Communication: Fairness and Throughput // Vehicular Technology, IEEE Transactions. 2013. Vol 62. No. 5. Pp. 2193–2203.
6. Вишнеvский В., Лаконцев Д., Сафонов А., Шпилев С. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11S: протоколы маршрутизации // ПЕРВАЯ МИЛЯ. М.: Рекламно-издат. центр «Техносфера», 2009. № 1. Т. 10. С. 16–21.
7. Davinder S.S., Sukesha S. Performance Evaluation of BATMAN, DSR, OLSR Routing Protocols - A Review // International J. of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. Vol. 2. No. 1. Pp. 2250–2459.
8. Laouiti A., Muhlethaler P, Sayah F., Toor Y. Quantitative Evaluation of the Cost of Routing Protocol OLSR in a Vehicle Ad Hoc NETWORK (VANET) // Vehicular Technology Conf. 2008. Pp. 2986–2990.
9. Zaborovskiy V., Lukashin A., Popov S., Vostrov A. Adage mobile services for its infrastructure // ITS Telecommunications. 13th Internat. Conf. 2013. Pp. 127–132.
10. Kulla E., Hiyama M., Ikeda M., Barolli L. Performance comparison of olsr and batman routing protocols by a manet testbed in stairs environment // Comput. Math. Appl. 2012. Vol. 63. No. 2. Pp. 339–349.

REFERENCES

1. Glazunov V.V., Kurochkin M.A., Popov S.G. Problemy postroyeniya intellektualnoy transportnoy seti, *Vysokiye intellektualnyye tekhnologii i innovatsii v natsionalnykh issledovatel'skikh universitetakh, Materialy mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii*. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2013, Vol. 1, Pp. 32–34. (rus)
2. Murray D., Dixon M., Koziniec T. An experimental comparison of routing protocols in multi-hop ad hoc networks, *Telecommunication Networks and Applications Conference*, 2010, Pp. 159–164.
3. Abolhasan M., Hagelstein B., Wang. Real-world performance of current proactive multi-hop mesh protocols, *Communications, 15th Asia-Pacific Conference on*, 2009, Pp. 44–47.
4. Glazunov V., Kurochkin L., Kurochkin M., Popov S. Instrumental environment of multi-protocol cloud-oriented vehicular mesh network. *ICINCO*, 2013, Vol. 1, Pp. 568–574.
5. Chakraborty S., Nandi S. IEEE 802.11s Mesh Backbone for Vehicular Communication: Fairness and Throughput, *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 2013, Vol. 62, No. 5, Pp. 2193–2203.
6. Vishnevskiy V., Lakontsev D., Safonov A., Shpilev S. Mesh-сети стандарта IEEE 802.11S: протоколы маршрутизации, *Pervaya Milya*. Moscow: Reklamno-izdatelskiy tsentr «Tekhnosfera» Publ., 2009, No. 1, Vol. 10, Pp. 16–21. (rus)
7. Davinder S.S., Sukesha S. Performance Evaluation of BATMAN, DSR, OLSR Routing Protocols – A Review, *International Journal of*

Emerging Technology and Advanced Engineering, 2012, Vol. 2, No. 1, Pp. 2250–2459.

8. **Laouiti A., Muhlethaler P, Sayah F., Toor Y.** Quantitative Evaluation of the Cost of Routing Protocol OLSR in a Vehicle Ad Hoc Network (VANET). *Vehicular Technology Conference*, 2008, Pp. 2986–2990.

9. **Zaborovskiy V., Lukashin A., Popov S., Vostrov A.**

Adage mobile services for its infrastructure. *ITS Telecommunications, 13th International Conference on*, 2013, Pp. 127–132.

10. **Kulla E., Hiyama M., Ikeda M., Barolli L.** Performance comparison of olsr and batman routing protocols by a manet testbed in stairs environment. *Comput. Math. Appl.*, 2012, Vol. 63, No. 2, Pp. 339–349.

ГЛАЗУНОВ Вадим Валерьевич – аспирант кафедры телематики Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
E-mail: neweagle@gmail.com

GLAZUNOV, Vadim V. *St. Petersburg State Polytechnical University.* 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.
E-mail: neweagle@gmail.com

КУРОЧКИН Михаил Александрович – профессор кафедры телематики Института прикладной математики и механики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат технических наук. 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
E-mail: kurochkin.m@gmail.com

KUROCHKIN, Mikhail A. *St. Petersburg State Polytechnical University.* 195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.
E-mail: kurochkin.m@gmail.com