Инструментальная среда моделирования мультипротокольной облачно-ориентированной MESH сети автомобилей.

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы повышения достоверности передачи сообщений в облачно-ориентированной MESH сети автомобилей, определения времени доставки сообщений при различной конфигурации дорожной сети, интенсивности автомобильного трафика, интенсивности сетевого трафика.

Ключевые слова:

Протокол передачи данных, MESH сеть, дорожная сеть, интерфейс, протокол маршрутизации, облачный сервис, пропускная способность интерфейса, сетевой трафик.

Введение

В настоящее время все большее внимание уделяется исследованиям проблем построения облачно-ориентированной MESH сети автомобилей. Постоянное совершенствование средств передачи данных, сетевой аппаратуры, методов межсетевого взаимодействия и доступа к облачным сервисам позволяют ставить новые задачи предоставления информационных услуг абонентам информационных сетей. Особый интерес представляют задачи повышения качества обмена сообщениями абонентами транспортных сетей в процессе движения в зонах с неустойчивой связью.

Обмен сообщениями между автомобилем и облачной средой осуществляется через выделенный транспортному средству канал связи с облаком, который организуются при помощи автомобильных телематических устройств, персональных устройств пользователя, таких как смартфоны, лэптопы и общедоступных сотовых сетей в режиме передачи данных. Качество обслуживания в облачно-ориентированной среде определяется надежностью оборудования сторонних производителей и качеством покрытия сотовых сетей.

В зонах с неустойчивой связью в качестве перспективного направления развития информационной сети рассматривается вариант организации подвижной самоорганизующейся локальной сети автомобилей с точками выхода в облачную среду. В такой модели обмен сообщениями между автомобилем и облаком может осуществляться по нескольким альтернативным путям, а совокупность автомобилей на трассе можно рассматривать как подвижную локальную сеть с изменяющейся топологией и составом с переменным числом точек обмена данными с облачной средой. Перспективной технологией передачи данных между автомобилями и облачной средой является MESH-сеть. Большинство авторов, работающих в этом направлении, исследуют модели сетей со стационарными ретрансляторами сигнала.

Так в работе [1] рассмотрены вопросы построения облачно-ориентированной MESH среды с регулярной структурой стационарных узлов сети. В статье приводится обоснование необходимости разработки нового многоадресного протокола передачи данных в MESH сети, основанного на данных о размещении автомобилей и стационарных узлов. Авторы рассматривают вопросы построения структуры информационной системы управления MESH-средой ориентированной на автомобили.

В работе [2] предложена структура автомобильной информационной системы, концепция сценариев доступа в облачную среду и пользовательские сценарии взаимодействия с облаком.

Работа [3] посвящена описанию технологической среды моделирования трафика беспроводных автомобильных сетей с использованием библиотек симулятора ns-3.

В работе [4] представлена сеть с одношаговой ретрансляцией сигнала через автомобиль, оснащённый передатчиком LTE.

Работа [5] содержит описание алгоритмов формирования и моделирования динамических кластеров VANET для доступа к глобальным сервисам.

Большинство авторов работ оставляют вне рассмотрения ситуации отсутствия непрерывной связи со стационарными ретрансляторами, когда непосредственная передача данных невозможна. В тоже время, если рассматривать каждый автомобиль в качестве подвижного ретранслятора, то обмен сообщениями с облаком можно обеспечить путём ретрансляции сообщений через них. При наличии многих точек доступа в облако возникает альтернатива выбора точки передачи сообщений в облачную среду. Сегодня, для построения пути доступа к облачной среде используются классические алгоритмы поиска маршрутов MESH сетях [… ], которые предполагают поиск единственного маршрута до единственного заранее известного адресата. В случае облачно-ориентированного сервиса требуется осуществить выбор наиболее перспективного узла из нескольких альтернативных. Для этого необходимо выявить доступные узлы с выходом в облако и оценить перспективность передачи и приёма данных через них.

На рисунке 1 приведена схема взаимодействия объектов однораноговой гетерогенной сети с облачной средой.

****

Связь с облаком может осуществляться двумя путями: непосредственно автомобилем, оборудованным аппаратурой связи; через стационарный узел. Автомобиль, расположенный вне зоны связи может связаться с облаком через цепочку автомобилей-ретрансляторов. Сеть предусматривает двунаправленную передачу сообщений – от автомобиля в облако и обратно.

Важнейшими задачами построения такой сети является выбор вариантов использования протоколов передачи данных для повышения достоверности передачи сообщений. Определение времени доставки сообщений к облачным сервисам и абонентам MESH сети в зависимости от интенсивности трафика движения автомобилей, трафика загрузки сети передачи данных, наличия и состава интерфейсов на автомобилях.

В данной работе исследуются вопросы повышения достоверности передачи сообщений между облачной средой и mesh (802.11s) сетью.

На автомобилях (узлах сети) установлен набор интерфейсов, позволяющих одновременно являться участником LTE и mesh сетей, или только mesh (передача данных только между автомобилями). Узел, обладающий двумя интерфейсами (LTE, 802.11s), выполняет роль шлюза, обеспечивающего передачу данных между mesh сетью и облачной средой посредством LTE.

В рамках данного исследования определяются зависимости достоверности передачи сообщений; отношения расчётной и фактической скоростей передачи данных; средней задержки доставки сообщения при взаимодействии узла с облачной средой, от используемых протоколов маршрутизации и интенсивности потоков передачи данных.

Особенностями рассматриваемой сети передачи данных, приведенной на рис.1, являются:

–отсутствие устойчивого канала передачи данных между автомобилем и облаком;

–необходимость передачи сообщения по mesh до узла, имеющего доступ к облачной среде (LTE).

Основным методом исследования является имитационное моделирование работы сети в среде ns-3 (дискретно-событийный симулятор телекоммуникационных систем[2]).

Симулятор ns-3 является свободным программным обеспечением, распространяемым по лицензии GPL, он ориентирован на исследовательское применение, а так же применение в образовательных целях. Исходные коды ns-3 открыты для исследования, модификации и использования и доступны на сайте проекта [2]. В качестве встроенного языка описания моделей используются: C++ и Python.

В ns-3 разработаны модели как проводных, так и беспроводных сетей, позволяющие проводить моделирование смешанных сетей с топологиями различной сложности. Особый интерес в рамках данной работы представляет реализация mesh сетей на основе стека протоколов 802.11s.

Для построения транспортной сети и моделирования движения транспорта применена модель движения транспорта Intelligent Driver Model (IDM) [3].

Модель IDM описывает движение транспортного средства (ТС) по сети дорог, учитывая расположение ТС на полосах движения, габаритные размеры ТС, дистанцию между ТС, поведение ТС при смене полосы движения, направление движения полос, среднюю скорость движения и ускорение в заданной полосе, сигналы светофоров, распределение транспортных потоков на перекрёстках [1].

Моделирование осуществлялось в симуляторе ns-3(v.3.16). Для согласования версий ns-3 и IDM осуществлена доработка реализации модели IDM, связанную с адаптацией ее структур данных к последней версии v.3.16 симулятора ns-3.

Для постановки экспериментов разработана модель подвижного узла с набором сетевых интерфейсов.

Для синтеза мультипротокольного узла в модель IDM добавлен новый класс, расширяющий перечень доступных интерфейсов узла следующим набором: 802.11abg, 802.11s, LTE. Первоначально набор интерфейсов ограничивался одним интерфейсом 802.11a.

В процессе моделирования перемещение мультипротокольного мобильного узла осуществляется заданием параметров мобильной схемы движения. Изменение координат транспортного средства влечет изменение координат мультипротокольного мобильного узла. Перемещение ТС осуществляется дискретно с интервалом 0.1 секунда, в течение всего периода моделирования.

Для проведения исследований разработана методика инициализации изменяемых параметров: признак узла «выход в облако»; протокол маршрутизации; скорость передачи данных; число узлов в дорожной сети; количество узлов ведущих одновременную передачу; размер передаваемых пакетов; транспортный протокол передачи данных. Измеряемыми параметрами являются: время отправки пакета, время получения пакета, число потерянных пакетов, число отправленных пакетов, размер пакетов, IP адреса источников и получателей сообщений.

*Создание мультипротокольного узла.*

Симулятор ns-3версии 3.16 не предоставляет готового решения для создания *мультипротокольного* узла, выполняющего роль шлюза между сетями 802.11s и LTE (рисунок 2). Построение имитационной модели подвижной сети передачи данных потребовало реализации модели *мультипротокольного* узла (рисунок 3), реализующей функцию маршрутизации сообщений между сетями передачи данных 802.11s и LTE. Реализация *мультипротокольного* узла выполнена на основе виртуального узла точка-точка, обеспечивающего промежуточное взаимодействие между интерфейсами 802.11s и LTE.



Рисунок 2. Базовая реализация шлюза 802.11s-LTE

Для реализации модели с использованием *мультипротокольного* узла, обеспечивающего взаимодействие сетей LTE и mesh необходимо выполнить следующие действия:

1. создать узлы с интерфейсом 802.11s. (класс *NodeContainer);*
2. задать модель движения узлов LTE (важно это сделать до установки самих UE и eNB интерфейсов) [5];
3. создать узлы базовых станций LTE (eNB, метод *InstallEnbDevice*, класса *LteHelper*);
4. создать узлы клиентов LTE (UE, метод *InstallUeDevice*, класса *LteHelper*);
5. создать виртуальный узел «точка-точка», выполняющий роль промежуточного звена для соединения интерфейса LTE и mesh;
6. установить интерфейс LTE в mesh узел (метод *Add* класса *NodeContainer*);
7. создать шлюз для соединения LTE с внешней сетью (метод *GetPgwNode класса EpcHelper*);
8. назначить IP-адреса узлам сети, включая виртуальный узел (метод *Assign* класса *Ipv4InterfaceContainer*);
9. задать маршрут от выбранного узла к LTE сети, через промежуточный много-интерфейсный узел с mesh и LTE (метод *AddNetworkRouteTo* класса *Ipv4StaticRouting*);
10. установить маршрут по умолчанию на LTE интерфейсах (через шлюз в этой сети, адрес шлюза получается методом *GetUeDefaultGatewayAddress класса EpcHelper* и устанавливается методом *SetDefaultRoute класса Ipv4StaticRouting*).

Рисунок 3 Реализация *мультипротокольного* узла узла.



Приведенная на рисунке 3 схема позволяет осуществлять доставку сообщений от любого узла mesh сети в облако.

Особенности программной реализации модели.

При реализации модели использованы модули ns-3:

–Модель интерфейса 802.11s [4]. Реализация допускает (по умолчанию) использования протокола маршрутизации HWMP в режиме с использованием корневого узла и с построением маршрута передачи по запросу (в переводе напишем: проактивный и реактивный режимы), кроме этого будут использованы протоколы маршрутизации для беспроводных mesh сетей: OLSR, AODV, DSDV.

–Реализации моделей протоколов маршрутизации в беспроводных сетях HWMP, OLSR, AODV, DSDV [6].

–FlowMonitor – модуль сбора и обработки статистики сетевого трафика, предоставляющий разнообразные методы сбора характеристик моделируемых сетевых устройств и каналов связи.

–WireShark анализатор трафика компьютерных сетей, предоставляющий широкие возможности по фильтрации и сортировке данных трафика различных сетевых протоколов.

–PyViz модуль визуализации моделей, позволяющий отображать топологию моделируемой сети, потоки данных, характеристики интерфейсов и каналов, а также их изменения на протяжении симуляции.

–Ns-3-highway-mobility – модель движения транспорта.

На рисунке 4 приведена структура среды модели гетерогенной сети.



Рисунок 4. Структура среды моделирования

Предлагаемая схема взаимодействия модулей, позволяет комбинировать различные протоколы маршрутизации, сетевые интерфейсы, модели движения узлов сети в рамках симулятора ns-3. Параметры моделирования передаются в класс NetworkNodes, где происходит выбор и настройка протоколов маршрутизации, создание нескольких сетевых интерфейсов, установка скорости передачи данных, числа передающих узлов и типа сетевого трафика. Результатом моделирования является набор xml-файлов сгенерированных модулем FlowMonitor.

Исходные данные для экспериментов.

Для проведения экспериментов определена область допустимых значений изменяемых параметров:

– сеть 802.11s, LTE;

– количество узлов сети 4-16;

– фрагмент дороги 200м x 200м – цикл с двусторонним движением;

– интенсивность передачи данных от узла к облаку 8-2048 Кбит/сек;

– максимальная скорость движения узла 50 км/ч;

– размер сообщений 1024 байт;

– протоколы маршрутизации HWMP, OLSR, AODV, DSDV;

­– тип трафика TCP, UDP;

– один узел сети оснащён интерфейсом LTE (осуществляет передачу данных в

облачную среду), данные от остальных участников сети передаются к нему.

Заданная такими границами область значений параметров моделирования позволяет исследовать наиболее динамичные периоды существования mesh сети (короткое время жизни сети, большой диапазон интенсивности сетевого трафика, высокая интенсивность перераспределения маршрутов).

Анализ результатов

*Оценка отношений расчётной и фактической скоростей передачи сообщений.*

Исследование фактической скорости передачи данных осуществлялось для разных протоколов маршрутизации и малом времени существования сети. Для сравнения были исследованиы протоколы маршрутизации в беспроводных mesh сетях OLSR, DSDV, AODV и протокол HWMP, разработанный специально для 802.11s. В эксперименте использовался UPD трафик передаваемый со скоростями 8, 32, 64, 128,512, 1024, 2048 Кбит/сек. Зависимость реальной скорости передачи от скорости передачи данных в сети представлена на рис. 5.

Рисунок 5. Фактическая скорость передачи данных для разных протоколов маршрутизации.

На рисунке 6 показано отношение фактической скорости передачи данных к реальной.

Рисунок 6. Отношение расчётной и фактической скоростей передачи данных.

Фактическая скорость передачи данных в мобильной сети ниже рассчётной по причине генерации служебного трафика, необходимого протоколам маршрутизации для поддержки актуальности данных о состоянии топологии сети. Интервал падения фактической скорости составляет 5-37%. Значительное падение реальной скорости передачи данных (до 37%) наблюдается при скоростях более 1024 Кб/сек, которая необходима при передаче медиаданных. Наилучшие результаты на потоках большой интенсивности демонстрируют протоколы AODV, DSDV. Для передачи коротких сообщений с малой интенсивностью наибольшую скорость демонстрирует протокол HWMP.

*Оценка достоверности доставки сообщений.*

Достоверность доставки сообщений определялась для наиболее сложных режимов существования сети, при которых время нахождения автомобиля в сети составляет менее 1сек. Для них характерна постоянная работа протоколов маршрутизации и процент потерь сообщений может быть значительным. В процессе моделирования были учтены следующие факторы:

- Число подвижных ретрансляторов подвижного узла фиксировано - 16.

- Скорость передачи сообщений (изменяется от 8 до 2048 Кбит\сек.)

- Размер передаваемого сообщения фиксирован и равен 1024 байт.

- Скорость движение подвижных узлов 50 км/час.

- Фрагмент дорожной сети 200м х 200м.

- 4 протокола маршрутизации.

На рисунке рис. 7 приведен процент потерянных сообщений от узла 802.11s сети к облачной среде для разных протоколов беспроводной маршрутизации (OLSR, HWMP, DSDV, AODV).

Рисунок 7. Процент потерянных сообщений

Диапазон потерянных сообщений составляет 10 – 46%. С увеличением скорости передачи он возрастаем примерно в три раза. Наибольшие потери сообщений возникают при использовании протокола OLSR, который не следует использовать для передачи потоковых данных без применения усложнённых механизмов передачи.

*Оценка среднего времени передачи сообщения по маршруту.*

Среднее время передачи сообщения от абонента к мобильному ретранслятору, имеющему канал связи с облаком, определялась для разного числа узлов (8 и 16) для протокола маршрутизации HWMP.

В процессе моделирования были заданы следующие значения параметров:

- средняя скорость передачи 512 Кбит/сек,

- TCP трафик,

- размер сообщения 1024 байт,

- фрагмент дорожной сети 200м х 200м,

- скорость движения узлов до 50 км/ч.

Для 8 узлов, при этих параметрах, среднее время доставки сообщения от абонента в облачную среду составило 70,41 мс., а для 16 узлов 4,04 мс. Уменьшение времени доставки сообщений для 16-ти узлов в первую очередь связано с увеличением числа маршрутов передачи данных.

Заключение

–Поставлена актуальная задача исследования поведения мобильной беспроводной сети передачи данных на основе 802.11s, LTE в направлении использования сервисов облачной среды;

–Разработана модель беспроводной сети передачи данных, на основании интеллектуальной модели движения транспорта (IDM), отличающаяся от аналогов наличием мульти-протокольных узлов, обеспечивающих взаимодействие сетей 802.11s, LTE и облачной среды;

– Выбраны набор параметров и область их значений: протоколы маршрутизации, интенсивность трафика данных, количество узлов сети и т.д., позволяющие исследовать периоды наибольших изменений структуры и состояния мобильной беспроводной сети передачи данных;

–Получены оценки уровня надёжности передачи данных; реальной скорости передачи данных, обеспечиваемых сетью и среднего времени обмена сообщениями узла сети с облачной средой.

В рамках продолжения исследований планируется провести детальное исследование временных характеристик, проанализировать возможность построения оптимальных маршрутов пересылки сообщений между узлом сети и облачной средой, на основании исследований разработать универсальный протокол маршрутизации для мультипротокольной облачно-ориентированной MESH сети автомобилей.

Литература

[1] Yacine Ghamri-Doudane, Piotr Szczechowiak, Sean Murphy , “Vehicular Mesh Networks for Infotainment Content Delivery: the Carmesh Perspective,” in [Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), 17-19 Dec. 2012](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=6461168)

[2] A. Iwai and M. Aoyama, “Automotive cloud service systems based on service-oriented architecture and its evaluation,” in *Proceedings of the 2011 IEEE 4th International Conference on Cloud Computing*, ser. CLOUD ’11. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2011, pp. 638–645.

[3] Cristian Olariu, Adriana Hava, Piotr Szczechowiak, Yacine Ghamri-Doudane, Workshop on Wireless Vehicular Communications and Networks 2011: "Prototyping Telematic Services in a Wireless Vehicular Mesh Network Environment", April 2012, Paris, France

[4] Guillaume Rémy, Sidi-Mohammed Senouci, François Jan, Yvon Gourhant LTE4V2X: LTE for a Centralized VANET Organization

[5] A. Benslimane, T. Taleb, and R. Sivaraj, “Dynamic clustering-based adaptive mobile gateway management in integrated vanet-3g heterogeneous wireless networks,” in *Proc. IEEE JSAC, Vol. 29, No. 3, Mar.*

*2011*.

[1] HIGHWAY MOBILITY AND VEHICULAR AD-HOC NETWORKS IN NS-3

Hadi Arbabi Michele C. Weigle http://arxiv.org/pdf/1004.4554v2.pdf

[2] <http://www.nsnam.org/>

[3] Congested Traffic States in Empirical Observations and Microscopic Simulations

Martin Treiber, Ansgar Hennecke, and Dirk Helbing II. Institute of Theoretical Physics, University of Stuttgart

[4] IEEE 802.11s Mesh Networking NS-3 Model. Kirill Andreev, Pavel Boyko http://www.nsnam.org/workshops/wns3-2010/dot11s.pdf

# [5] ns-3 models. LTE Module <http://www.nsnam.org/docs/release/3.16/models/html/lte.html>

[6] Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Routing Protocol Implementation in ns-3.

Hemanth Narra, Yufei Cheng, Egemen K. Çetinkaya, Justin P. Rohrer and James P.G. Sterbenz

Information and Telecommunication Technology Center Department of Electrical Engineering and Computer Science The University of Kansas, Lawrence, KS 66045, USA