**Идея: мобильный абонент хочет работать как и стационарный, чтобы сохранялся доступ ко всем службам и сервисам доступных посредством сетей передачи данных.**

**Введение**

**Описание сервисов в мобильных mesh-сетях**

1.1 Новые направления развития информационных услуг.

Перспективные направления предоставления информационных услуг базируются на системе SYNC и предоставляют клиентам компании ФОРД следующие возможности:

1. Мониторинг технического состояния автомобилей и сокращение числа обращений в сервисные центры,

2. упрощение финансовых расчетов клиентов компании при эксплуатации автомобиля,

3. комплексное решение эксплуатационных и транспортных задач,

4. расширение области информационно-развлекательных услуг,

5. мониторинг обстановки на трассе движения и оперативная помощь в сложных или аварийных ситуациях.

Реализация этих возможностей создает повышенные удобства водителям и пассажирам автомобилей ФОРД.

Новые возможности реализуются в среде облачных вычислений с использованием беспроводного подключения встроенного оборудования к облачной среде.

1.2 Категории абонентов информационных услуг

 автомобиль (VIN),

 аналитический центр ФОРД,

 водитель (владелец автомобиля),

 водители автомобилей FORD,

 другие автомобили FORD,

 пассажиры автомобилей,

 региональные службы управления движением,

 сервисные центры,

 службы помощи на дорогах,

 специальные ТС,

 спецслужбы,

 элементы "умной" дороги.

1.3 Набор функций для пользователей информационных услуг

1.3.1 Сообщение о погодных условиях, состояния дорожного покрытия

В облако и напрямую водителям, передаются данные: температура, влажность, давление – данные собираются с датчиков бортовой системой и отправляются в облако с некоторой частотой в зависимости от скорости движения (∆t), эти данные актуальны в течение некоторого времени, которое может задаваться облаком; состояние дороги: ямы, колея - регистрируется на основе датчиков сотрясения (акселерометров), за некоторое расстояние накапливаются в памяти и раз в 500-100 метров или за другой интервал отправляются пакетом в облако.

Из облака получаем данные: информацию о погоде, можно получать данные о погоде на протяжении проложенного навигационной системой маршрута, при наличии – актуальную информацию полученную от других участников движения, при недоступности таких данных – прогноз Гидрометцентра. Передается время когда эти данные были получены облаком, что позволит судить об актуальности получаемых данных; так же из облака получаем данные о состоянии дорожного покрытия по маршруту.

1.3.2 Сообщение об оперативных изменениях в транспортной сети

Из облака, передаются оперативные данные о: перекрытии дорог, изменении числа полос и рядности движения, изменении скоростного режима, неработающих светофоры, пробки, ДТП. Источником этих данных являются дорожные службы, службы типа “Яндекс.Пробки” и непосредственно водители. Для таких данных аналитическим центром или дорожными службами устанавливается время актуальности, также водители могут отправлять данные об отмене действовавших ограничений. В качестве данных также передается средняя скорость и координаты участка пройденного за некое время ∆t. После статистического анализа данных какие-то результаты и подсказки для бортовой навигации рассылаются обратно автомобилям. Дополнительно могут быть установлены датчики определяющие есть ли другие машины вокруг движущегося транспортного средства.

1.3.3 Сообщение о правилах регулирования дорожного движения: действующие знаки, светофоры, приближение транспортных средств с особым режимом движения: скорая, пожарная

Данные приходят от других транспортных средств, а также непосредственно от самих элементов дорожной сети (светофоры, знаки и т.п.): получение сообщений от дорожной сети «умная дорога» о действующих знаках, разметке и показаниях светофоров (типа «локомотивный светофор») и получение данных о приближающихся специальных транспортных средствах, которым необходимо уступить дорогу - источником таких данных может быть облако или само специальное транспортное средство, если оно оснащено соответствующими передатчиками.

1.3.4 Сбор и отображение данных о местоположении автомобилей других участников движения

Данные передаются от других автомобилей FORD или из облака: источники данных – другие транспортные средства FORD, они транслируют свои координаты с некоторым интервалом в облако и другим автомобилям, опрос этих данных тоже выполняется с некоторой частотой.

1.3.5 Автоматическое сохранение треков движения транспортного средства с видеофиксацией ключевых точек движения по времени или по событию.

Данные изначально хранятся локально и потом выгружаются в облако: Локальное (в базе бортовой системы) сохранение с заданной частотой координат путевых точек пройденного маршрута (запись трека), запись видео либо непрерывно, либо по заданным водителем правилам (фото/видео раз в какое-то время или расстояние, фото/видео по нажатию кнопки, например, фото поворота на хитрой развязке дорог). Дополнительно можно выгружать какие-то из этих данных по выбору водителя в облако, чтобы помочь другим преодолеть тот же маршрут (подсказки водителю и навигационной системе) или еще для чего-либо. В последствии пользователь может извлечь данные из облака, чтобы посмотреть как возвращаться.

1.3.6 Уточнение данных о дорожной обстановке в центре управления транспортными средствами.

Данные в центр обслуживания: голосовой канал связи с центром обслуживания и реагирования (будет ли использоваться для организации такого канала mesh-сеть – вопрос), будет предназначаться для помощи водителю на дорогах (заблудился, закрыта дорога и т.п.).

1.3.7 Передача сообщений об аварийных ситуациях

В облако и другим водителям: источник – автомобиль в аварийной ситуации или автомобили, находящиеся рядом, приемники – все категории пользователей (автомобили рядом, спецслужбы, дорожные службы, облако и аналитический центр и т. д.) Передаются координаты и код, сообщающий о категории аварийной ситуации. По возможности передается набор видеоданных (15-30секунд). В службу спасения отправляется текстовое сообщение со ссылкой на видео и координаты.

1.3.8 Автоматическая оплата услуг (дороги, парковки, топливо)

Вопрос для обсуждения: каким образом организовать платежную систему в рамках рассматриваемой большой задачи. Данные для передачи: данные аутентификации, тип услуги, номер поставщика, сумма оплаты.

1.3.9 Отправка сообщений “SOS” автомобилям в определенном радиусе: “кончился бензин”, “сел аккумулятор”, “спустило колесо, нет запасного”, “застрял, помогите выехать”

Данные передаются напрямую другим автомобилям, либо транзитом через облако другим автомобилям, а также в службы помощи на дорогах: радиус рассылки сообщений необходимо формировать динамически на основе местоположения (например, в городе сообщения должны получать автомобили, находящиеся в пределах 2-3 км от просящего помощи, в удаленных районах – до 100 км); данные для отправки: координаты, состояние: еду, медленно еду, стою, текстовое сообщение из числа заранее определенных шаблонов или формируемое водителем (сервисное сообщение). Источник – автомобиль, приемники: облако, другие авто в заданном радиусе, службы помощи на дороге.

1.3.10 Срабатывание датчиков охранного комплекса и/или угон автомобиля

Отправка сведений всеми доступными способами с приложением фото-, видео- и аудиоданных с внешних/внутренних камер и микрофонов.

Данные передаются в облако, а также другим автомобилям, спецслужбам и владельцу: передается тип сработавших датчиков: продольное/поперечное/вертикальное ускорение, сотрясение кузова, разбитое стекло, датчики внутреннего объема, запуск двигателя в обход иммобилайзера, отключение систем охранного комплекса, аудио/видеозапись с внутренней и внешней камер за 30-60 секунд до срабатывания охранной системы, при обнаружении перемещения машины – координаты и потоковое видео вещание при доступности соответствующего канала, было бы неплохо иметь возможность получать специальные сообщения от оператора службы безопасости или водителя для срабатывания аварийных программ защиты: включение пульсации всех внешних световых приборов, при остановке – отключение двигателя, блокировка трансмиссии. Владелец получает смс, email или другое сообщение для информирования о проблемах с нарушением безопасности транспортного средства.

1.3.11 Аудио и видео консультации водителя о техническом состоянии автомобиля

Из облака: поток аудио/видео данных между аналитическим центром и водителем. Аудио консультации по поводу неправильной работы автомобиля (стучит двигатель, отвалился глушитель, проблемы с заводом и т.п.)

1.3.12 Дистанционный сбор данных об отказах и сбоях оборудования

В облако: периодически отсылает текущее состояние с датчиков автомобиля, а также статистические данные за весь период эксплуатации автомобиля (256кб хватит на все), в этих данных также отображаются аварийные ситуации произошедшие с опрашиваемым оборудованием. Данные представляют собой структуру содержащую тип оборудования, его состояние в измеряемых единицах (процент износа, работает/не работает и т.п.), время (вопрос: как синхронизировать время) перехода оборудования в это состояние, а также указатель на список таких структур хранящий предыдущие изменения состояний этого оборудования.

1.3.13 Дистанционная загрузка новых версий программного обеспечения, учитывающего особенности эксплуатации конкретного автомобиля

В облако: VIN, версия программного обеспечения, перечень аппаратных компонентов автомобиля.

Из облака: двоичный образ микропрограммы, ее контрольная сумма и цифровая подпись для проверки целостности. Обновление прошивки происходит по своему регламенту, например, в процессе стоянки автомобиля, без запроса от пользователя, в случае возникновения ошибки обновления, ПО откатывается к предыдущей версии.

2. Дистанционное управление агрегатами автомобиля: двигатель, трансмиссия, устройства освещения.

Из облака: команда с типом агрегата, которым должно осуществляться управление, новое состояние этого агрегата. Запрос на эту команду посылается, либо водителем (открыть дверь, запустить двигатель), либо каким-либо другим средством или лицом имеющий авторизованный доступ к этой команде на конкретном автомобиле.

1.3.16 Сообщения о необходимости прохождении технических осмотров или срочного ремонта

Из облака: информационное сообщение для водителя, напоминающее о необходимости прохождения ТО, либо замене какого-либо компонента в автомобиле. Пользователю может быть отправлена информация о ближайших сервисных центрах (координаты и название сервисных центров), в которые могут быть доставлены требуемые замены компоненты, а также ориентировочное время доставки этих компонентов. После подтверждения пользователем готовности посетить предложенный сервисный центр, ему назначается более точное время обслуживания.

В облако: данные с датчиков автомобиля, сообщающие о критическом уровне износа или неисправности какого-либо компонента автомобиля, позволяющие предсказать выход из строя этого компонента. Информация может быть получена в сервис-центре, до того как автомобиль приедет на ТО, что позволит сократить время обслуживания, благодаря тому что недостающие детали будут заказаны заранее.

1.3.17 Централизованный сбор и хранение данных об особых событиях в автомобиле: открытие кузова, заправка или слив топлива, длительная стоянка

В облако: тип события, его состояние, время возникновения, а также указатель на структуру таких событий хранящий в себе историю их возникновения. Цель - функционирование виртуальной логистической среды, для грузовиков и коммерческих автомобилей. По сравнению с п.1.3.2.1 предоставляется расширенный набор параметров, выбираемых для отправки пользователем.

1.3.18 Контроль качества выполнения сервисного обслуживания (особо актуально для стран восточной Европы)

В облако: состояние датчиков автомобиля после сервисного обслуживания, отправленное в аналитический центр. Служит для контроля качества выполнения работ в официальном сервисном центре производителем. Признак прохождения сервисного обслуживания выставляется водителем.

1.4 Телекоммуникационная среда для пассажиров автомобилей

Поток данных идет с низким приоритетом относительно других видов трафика между автомобилями, одной виртуальной локальной сети, если передача осуществляется посредством сторонних автомобилей не входящих в эту сеть, они вправе отклонить этот тип трафика и не передавать дальше. Пользователи подключаются к виртуальной локальной сети посредством доступных и популярных беспроводных технологий.

 Подключение к удалённым сервисам через мобильную сеть (личная электронная почта, социальные сети, блоги, микросообщения).

 Организация виртуальной локальной сети между автомобилями с целью передачи речи и видеопотока («виртуальный автобус», видеоигры, общение в общем видеочате).

 Доступ в глобальную сеть (объём определяется пропускной способностью сети).

1.5 Технологические функции

Статистическая информация о пропускной способности канала передачи данных в разных частях дорожной сети.

Можно вставить таблицу с числами из файла «Анализ данных»

**Методы повышения надежности передачи данных**

Большие объемы данных характерны для:

– Автоматического сохранения треков движения транспортного средства с видеофиксацией ключевых точек движения по времени или по событию.

– Дистанционной загрузки новых версий программного обеспечения бортового компьютера.

– Поддержки телекоммуникационной среды для пассажиров автомобилей.

– Проведения видео консультаций водителя автомобиля.

Данная классификация показывает, что для наиболее приоритетных сообщений, определяющих безопасность движения, характерны малые объемы. Кроме этого одна часть данных этой категории предназначена для региональных служб, а другая для удаленных пользователей.

Отсутствие стабильного покрытия автотрасс сетями 2G/3G/4G, используемыми для обеспечения доступа к внешним облачным сетевым сервисам и службам ЭРА-ГЛОНАС, а также невозможность оборудования каждого автомобиля средствами выхода в локальные и глобальные сети ставит задачу разработки альтернативных методов передачи данных в мобильной сети. Главным требованием к этим методам является обеспечение каждому автомобилю надежного доступа к локальным и глобальным сетям во время движения на любом участке автотрассы.

В настоящее время наиболее распространёнными технологиями передачи данных в беспроводных глобальных сетях являются:

–WiMAX [1,2] (802.16de) – скорость передачи данных до 75Мбит/с, удалённость абонента – до 10 км;

– LTE – обеспечивает скорость передачи до 150 Мбит/с, удалённость абонента до 30 км.

Они обеспечивают устойчивую связь автомобиля в зоне прямой видимости стационарной станции при скорости движения автомобиля до 120 км/ч. В зонах со сложным рельефом качество связи снижается, а при отсутствии передающих станций связь пропадает.

Базовым решение поставленной задачи является интеграция возможностей глобальных сетей и локальных беспроводных технологий, которая предусматривает создание мультипротокольных методов передачи сообщений. Этот подход позволит сократить нагрузку на глобальные сетевые сервисы, увеличит время устойчивой связи абонентов, повысит надежность передачи сообщений. Техническая поддержка этого решения обеспечивается совместным использованием средств организации mesh сетей на базе Wi-Fi (802.11) и технологии LTE.

Практическая реализация этого подхода сталкивается с рядом проблем:

¬– несовместимостью сетевого оборудования;

– повышением издержек на внедрение новых технологий;

– обеспечением надежности и высокой скорости передачи сообщений.

Первая проблема решается использованием в аппаратуре сетевого оборудования общего набора сетевых стандартов и протоколов передачи данных. Совместимость стандартов обеспечивает устойчивую работу сетей на физическом, канальном и сетевом уровнях модели OSI. Другими словами производители оборудования разрабатывают и используют универсальные реконфигурируемые интерфейсы для доступа как к глобальным и локальным беспроводным сетям.

В настоящее время в корпорации Intel ведутся работы по решению этой задачи на уровне перенастроек радиопередающей системы, адаптируемой к любой среде беспроводной связи. Такой подход является существенно менее дорогим, чем реализация нескольких беспроводных интерфейсов в каждом устройстве. Технология разработки универсального реконфигурируемого устройства, адаптирующегося под конкретные каналы и протоколы передачи данных, запатентована корпорацией Intel [3].

Вторая проблема решается использованием оптимальных методов распределения нагрузки на сети передачи данных, позволяющих повысить эффективность использования существующих сетей.

Так, например, использование алгоритмов разгрузки трафика мобильной сети через хот-споты Wi-Fi, повышает пропускную способность сетей 2G/3G/4G без дополнительных инвестиций. Очевидным шагом развития интерфейсов передачи данных является внедрение «бесшовного» роуминга между сетями Wi-Fi и 2G/3G/4G с использованием технологии Hotpsot 2.0 (Next Generation Hotspot – NGH), содержащей описание процедур аутентификации и эстафетной передачи. Технология NGH обеспечивает поддержку автоматического входа мобильных устройств в сеть без необходимости дополнительной авторизации абонента.

Использование решений Wi-Fi Direct [4] позволяет обеспечить прямые Wi-Fi соединения со стандартными скоростями передачи различным клиентским устройствам (коммуникаторы, смартфоны, цифровые фото/видео камеры и др.), минуя традиционные точки доступа и беспроводные маршрутизаторы. Wi-Fi Direct можно рассматривать как базу для организации беспроводных локальных сетей для исключения передачи внутреннего трафика через глобальные сети.

Третья проблема решается использованием набора стандартов 802.11. Внедрение спецификации IEEE 802.11s позволяет строить простые и недорогие сети Wi-Fi с поддержкой альтернативных маршрутов передачи данных. Развитие ячеистых (mesh) Wi-Fi сетей на базе сравнительно дешевых модулей, каждый из которых по радиоканалу соединен со всеми соседями в зоне радиовидимости, обеспечит самоорганизацию сетевых модулей и добавит способность восстановления связи при выходе из строя некоторых узлов.

Использование спецификации IEEE 802.11v обеспечивает поддержку механизмов управления параметрами радиосети Wi-Fi для уменьшения энергопотребления, что особенно важно для эксплуатации автономных модулей, не имеющих возможности регулярной подзарядки (например, в стоящем автомобиле). В свою очередь внедрение протокола 802.11k улучшает управления радиоресурсом и позволяет в сетях Wi-Fi идентифицировать слабые сигналы в зонах неуверенного приема.

Для сеансов связи в зонах с коротким радиусом действия перспективным направлением повышения достоверности передачи данных является использование частотного диапазона 60 ГГц с пиковыми скоростями передачи до 7 Гбит/с для сценариев пикосотового покрытия (mesh сетей) по средствам стандарта предложенного Wireless Gigabit Alliance [5]. Перспективным развитием поддержки «облачных» сервисов должно стать использование высокоскоростного беспроводного доступа Wi-Fi 60 ГГц. Это решение требует одновременной поддержки базовых частотных диапазонов Wi-Fi — 2,4 ГГц и 5 ГГц.

Перспективным направлением при передаче коротких сообщений между автомобилями и дорожной инфраструктурой является беспроводная технология соединения с автомобилями –DSRC. В настоящее время стационарные передатчики дорожной инфраструктуры предназначены для трансляции на борт транспортного средства сообщений о дорожной обстановке. Они позволяют информировать водителей транспортных средств и дорожную инфраструктуру о состоянии светофоров и дорожных знаков, фактах сокращения дистанций и интервалов между транспортными средствами, наличии заторов и инцидентов на дороге. Преимуществом технологии является короткое время соединения между стационарными и подвижными передатчиками, высокая скорость передачи данных и поддержание стабильного соединения с транспортными средствами, движущимися на высоких скоростях. Особенностью технологии является небольшой радиус действия одного передающего устройства – от шестисот метров до полутора километров в области прямой радиовидимости. Объединение всех устройств в единую сеть обеспечивает непрерывное соединение транспортного средства с дорожной инфраструктурой.

Сеть состоит из соединённых каналами связи стационарных устройств и мобильных приёмо-передатчиков, установленных на транспортных средствах. Все активные приёмо-передатчики формируют самоорганизующуюся одноранговую mesh-сеть. Наличие сети стационарных устройств и непрерывного соединения транспортных средств между собой создаёт предпосылки использования технологии DSRC в качестве средства доставки коротких сообщений в корпоративные и общегосударственные облачные среды, такие как ЭРА-ГЛОНАС или E-call. В этом случае mesh-сеть, организованная на основе DSRC технологии, является транспортом для передачи коротких высокоприоритетных сообщений указанных систем. Тогда, при срабатывании в автомобиле системы экстренного вызова сообщение ретранслируется не только по выделенному каналу связи, ассоциированному с системами ЭРА-ГЛОНАСС и E-Call, таким как LTE или 3G, но и по mesh-сети до ближайшего устройства дорожной инфраструктуры, которое в свою очередь ретранслирует его в центр обработки сообщений указанных систем. На рисунке 1 показаны возможные траектории передачи сообщений: штатными средствами систем ЭРА-ГЛОНАСС и E-CALL, непосредственно техническим средствам дорожной инфраструктуры (V2I), или ретрансляция сообщения через другие автотранспортные средства до элементов дорожной инфраструктуры или другого транспортного средства с оборудованием ЭРА-ГЛОНАСС. Одновременная передача сообщения тремя способами через две независимые сети существенно сократит время доставки сообщения и повысит вероятность его доведения.

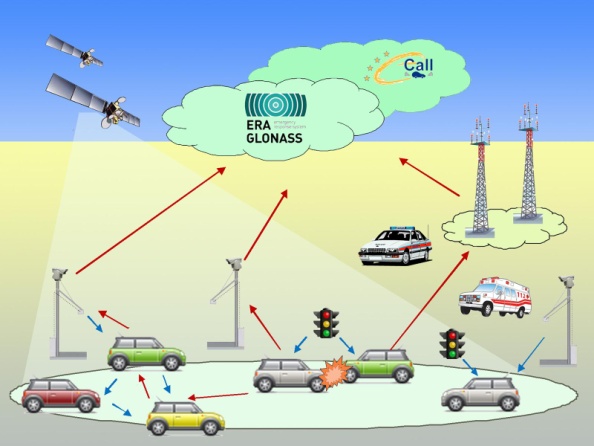


Рис. 1. Траектории передачи сообщений в мультипротокольной мобильной сети.

**Описание мультипротокольного узла (топология сети)**

Основной сложностью обеспечения передачи данных при использовании подвижного mesh 802.11s является динамичное изменение структуры сети, требующее использования дополнительных средств для поддержки маршрутизации сетевого трафика. Изменение доступных маршрутов передачи данных во время передачи сообщения приводит в увеличению времени передачи и, возможно, к потере сообщения. Основными параметрами влияющими на свойства подвижной mesh-сети(802.11s) передачи данных являются скорости движения объектов, территориальное расположение узлов сети, радиус действия передатчиков и время подключения к сети.

****

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.

Для широкого внедрения mesh-сетей необходима совместимость с существующими сетевыми стандартами и протоколами, её наличие позволило бы множеству mesh-сетей различных производителей, взаимодействовать на канальном и сетевом уровнях OSI, включая протоколы IPv4 и IРv6. Сеть смогла бы объединять устройства с различными интерфейсами беспроводной связи. В настоящее время в корпорации Intel ведутся работы по решению этой задачи на уровне перенастроек радиопередающей системы, адаптируемые к любой среде беспроводной связи. Такой подход является существенно менее дорогим, чем реализация нескольких беспроводных интерфейсов в каждом устройстве. Технология разработки универсального реконфигурируемого устройства, адаптирующегося под конкретные каналы и протоколы передачи данных запатентована Intel [2].

**Среда моделирования ns-3**

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].

**Среда постановки эксперимента для мультипротокольной сети**

Для эффективного управления данными к среде моделирования были выдвинуты следующие требования:

–изменение параметров: число абонентов, топология сети, закон изменения движения, протокол передачи данных, размер и интенсивность появления пакетов;

–сбор статистики после проведенной симуляции;

–автоматический запуск набора экспериментов с различными параметрами;

–конфигурация эксперимента как входной набор параметров в виде файла.

На рис. 2 приведена разработанная структура среды модели мультипротокольной сети.

Реализованная модель содержит следующие модули ns-3:

–Модель интерфейса 802.11s [5]. Реализация допускает использование протокола маршрутизации HWMP в режиме с использованием корневого узла и с построением маршрута передачи по запросу, кроме этого будут использованы протоколы маршрутизации для беспроводных mesh сетей: OLSR, AODV, DSDV.

–Реализации моделей протоколов маршрутизации в беспроводных сетях HWMP, OLSR, AODV, DSDV [2].

–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.

Реализованная схема взаимодействия модулей позволяет комбинировать различные протоколы маршрутизации, сетевые интерфейсы, модели движения узлов сети. 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.



Рисунок 2. Архитектура среды моделирования

Для реализации комбинации беспроводных сетей разработана модель подвижного мультипротокольного узла с набором сетевых интерфейсов. Для реализации мультипротокольного узла добавлен новый класс, позволяющий комбинировать интерфейсы стандартов: 802.11abg, 802.11s, 802.11p, LTE.

Для реализации модели с использованием мультипротокольного узла, обеспечивающего взаимодействие сетей, на примере, 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);

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).

В процессе моделирования перемещение мультипротокольного подвижного узла осуществляется заданием параметров схемы движения абонента. Координаты мультипротокольного мобильного узла наследуются от координат абонента. Перемещение абонента осуществляется дискретно с интервалом 0.1 секунда, в течение всего периода моделирования.

В симуляторе ns-3 версии 3.16 предложено расширение возможностей симулятора добавлением мультипротокольного узла, выполняющего роль шлюза между беспроводными сетями 802.11s, 802.11p (рис. 2). Построение имитационной модели подвижной сети передачи данных потребовало реализации модели узла (рис. 3), реализующей функцию маршрутизации сообщений между сетями передачи данных 802.11s и 802.11p. Реализация мультипротокольного узла выполнена на основе виртуального узла точка-точка, обеспечивающего промежуточное взаимодействие между интерфейсами 802.11s и 802.11p. На узлах сети установлен набор интерфейсов, позволяющих одновременно являться участником различных mesh-сетей. Узел, обладающий двумя интерфейсами (802.11s, 802.11p), выполняет роль шлюза, обеспечивающего передачу данных между двумя mesh-сетями.

В качестве примера создан узел приведенный на рис. 3 схема позволяющий осуществлять доставку пакетов между мультипротокольными узлами mesh-сети.



Рисунок 2. Базовая реализация шлюза 802.11s-802.11p



Рисунок 3. Реализация мультипротокольного узла.

Для проведения исследований разработана технология инициализации параметров: распределение событий связанных с перемещением абонента (изменение скорости и характера движения); процент потерь пакетов в канале; применяемые протоколы маршрутизации; скорость передачи данных; число узлов в моделируемой сети; количество узлов ведущих одновременную передачу; размер передаваемых пакетов; тип транспортного протокола передачи данных. В процессе моделирования измеряемыми параметрами являются: время отправки пакета, время получения пакета, число потерянных пакетов, число отправленных пакетов, размер пакетов, IP адреса источников и получателей сообщений.

**Поставновка эксперимента (разные протоколы маршрутизации)**

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 значения задержки отклика от облачной среды.

Среднее время передачи сообщения от абонента к облаку 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

. В рамках данной работы проводились исследования возможности доставки экстренного сообщения от аварийного автомобиля до автомобиля, оснащённого интерфейсом ЭРА-ГЛОНАСС при условии соединения аварийного автомобиля с мобильной mesh-сетью средствами 802.11s. на участке 4-х полосного шоссе протяжённостью 800 метров.

В первом эксперименте определялся процент потерь сообщений от максимальной скорости движения автомобилей при разной плотности потока автомобилей оснащённых интерфейсом 802.11s.(рис.2).

– 2 машины на 100 метров и одна машина на 100 метров шоссе.рис 2.

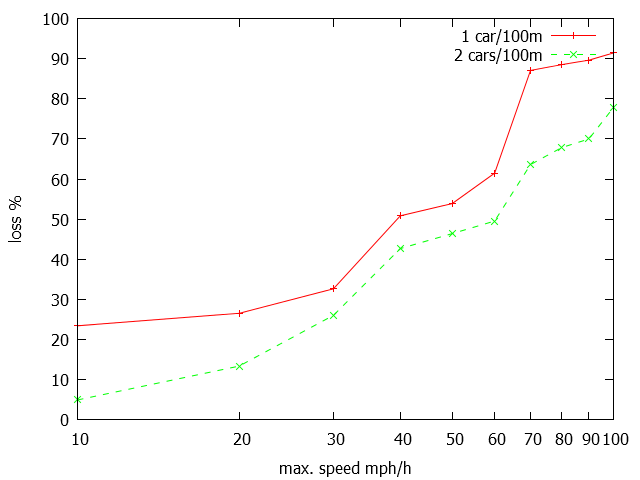
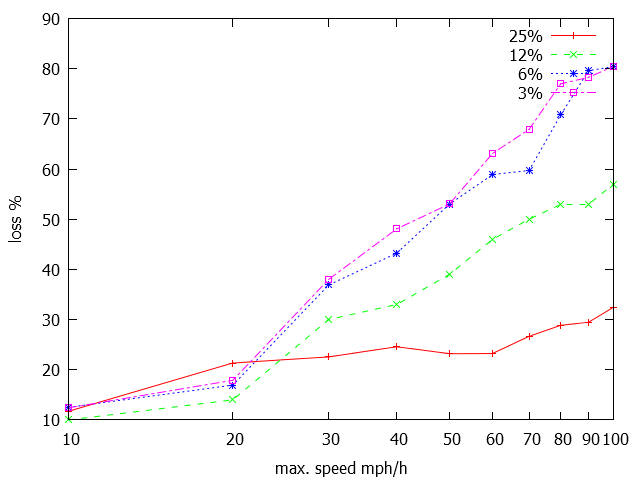


Рис.2 Зависимость процент потерь доставки сообщения от аварийного автомобиля от плотности движения автомобилей.

Зависиость на рис.2 показывает, что при скорости движения автомобиля 100 миль в час и плотности движения 1 или 2 машины на 100 метров трассы, практически все переданные сообщения не доходят до адресата. Процент потерь сотавляет 78-92%. Из этого следует, что при таком режиме движения необходимо либо увеличивать плотность машин находящихся в радиусе действия передатчика mesh (802.11s), либо создавать больше альтернативных путей доставки сообщений. Другим вариантом решения проблемы с небольшой плотностью машин, оснащенных передатчиками 802.11s, является использование альтернативной технологии передачи – DSRC или использование прямых глобальных каналов точка-точка (LTE, WiMAX).

Во втором эксперименте проводилось исследование возможности доставки сообщения от аварийного автомобиля, неоснащённого оборудованием ЭРА-ГЛОНАСС, средствами 802.11s до хотя бы одного автомобиля оборудованного 802.11s и ЭРА-ГЛОНАСС на участке 4-х полосного

шоссе протяжённостью 800 метров (рис.3).

Рис. 3 Зависимость доставленных сообщений от скорости движения автомобиля и числа автомобилей оснащенными устройствами ЭРА-ГЛОНАСС.

На рисунке 3 приведена зависимость процента потерь сообщений при плотности потока автомобилей, оснащённых интерфейсом 802.11s, - 2 машины на 100 метров и при оснащённости потока автомобилей интерфейсом ЭРА-ГЛОНАСС на 25%, 12%, 6%, 3%.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что использование протоколов для организации mesh сетей(802.11s) повышает достоверность доставки сообщений до узлов содержащих устройства ЭРА-ГЛОНАСС при оснащении устройствами ЭРА-ГЛОНАСС не менее 25% автомобилей. В противном случае теряется более 50% переданных сообщений, и тогда целесообразно использовать альтернативные протоколы отправки сообщений в облако, такие как DSRC (при наличии покрытия дороги) и LTE.

**Выводы**

–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.

Результаты проведённой работы:

–архитектура среды моделирования mesh-сети развёрнутой в экстремальных условиях, основанной на использовании мультипротокольных узлов;

–разработана модель мультипротокольного узла в среде ns-3. Созданая модель обеспечивает маршрутизацию между доступными сетевыми интерфейсами;

–технология моделирования высоконадежных сетей с произвольной комбинацией протоколов: 802.11s, 802.11p, 802.11abg, LTE;

–разработана среда моделирования mesh на базе ns-3. Полученная среда моделирования позволяет произвести оценки работы сетевых узлов (абонентов) в экстремальных условиях.