

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАФИКА И КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЯХ НА БАЗЕ БПЛА

А. А. Дорохова¹, А. И. Парамонов¹

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация
 Адрес для переписки: alex-in-spb@yandex.ru

Информация о статье

УДК 004.7

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 29.04.16, принята к печати 27.05.16.

Ссылка для цитирования: Дорохова А. А., Парамонов А. И. Исследование трафика и качества обслуживания в самоорганизующихся сетях на базе БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 2. С. 12–25.

Аннотация

Предмет исследования. Статья посвящена исследованию трафика и качества обслуживания в самоорганизующихся сетях на базе БПЛА. **Метод.** В качестве метода исследования применяется имитационное моделирование на базе пакета ns-3. В работе оцениваются характеристики трафика и качества обслуживания в сети, построенной в соответствии с разработанной имитационной моделью. **Основные результаты.** В статье приведены результаты оценки характеристик трафика и качества обслуживания в сети, построенной в соответствии с разработанной имитационной моделью, с использованием протоколов маршрутизации AODV и OLSR. **Практическая значимость.** На основе анализа полученных результатов моделирования предлагаются рекомендации по выбору модели мобильности сети и используемых в ней протоколов маршрутизации.

Ключевые слова

FANET, БПЛА, IEEE 802.11, протокол маршрутизации, самоорганизующиеся сети на базе БПЛА, QoS, имитационное моделирование, ns-3.



TRAFFIC AND QUALITY OF SERVICE RESEARCH IN A FLYING AD-HOC NETWORK

A. Dorohova¹, A. Paramonov¹

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation
Corresponding author: alex-in-spb@yandex.ru

Article info

Article in Russian.

Received 29.04.16, accepted 27.05.16.

For citation: Dorohova A., Paramonov A.: Traffic and Quality of Service Research in a Flying Ad-Hoc Network // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 2. pp. 12–25 (in Russian).

Abstract

Research subject. The article concentrates on the research of traffic and quality of service in Flying Ad-Hoc Networks (FANETs). **Method.** The research method is network simulation based on ns-3. In the article we estimate characteristics of traffic and quality of service in the network constructed in accordance with the developed simulation model. **Core results.** The paper contains the estimation results of traffic and quality of service in the network constructed in accordance with the developed simulation model using AODV and OLSR routing protocols. **Practical relevance.** The paper presents recommendations of choosing the network mobility model and routing protocols.

Keywords

FANET, UAV, IEEE 802.11, routing protocol, flying ad-hoc network, QoS, simulation modeling, ns-3.

Введение

С целью удовлетворения запросов современного общества, желающего всегда оставаться на связи, а также в результате появления на рынке всевозможных гаджетов и мобильных устройств, приводящих к еще большему росту запросов, в настоящее время можно наблюдать высокие темпы развития технологий беспроводной передачи данных. Это, в свою очередь, ведет не только к совершенствованию уже существующих моделей сетей связи, но также к поиску новых вариантов применения беспроводных технологий.

Одним из таких вариантов являются самоорганизующиеся сети на базе беспилотных летательных аппаратов (*Flying Ad-Hoc Networks* – FANETs) [1, 2]. Их интенсивное исследование в применении к военной сфере проводилось на протяжении нескольких десятилетий [3, 4, 5]. Однако в гражданском секторе данные сети начали представлять интерес совсем недавно, когда произошла популяризация отдельного класса БПЛА, представленного мультироторными системами и беспилотными аппаратами в классическом исполнении на электроприводе.

Такие БПЛА привлекли внимание специалистов в качестве удобной платформы для обследования относительно протяженных территорий, таких как городские агломерации, лесные массивы, сельскохозяйственные угодья и др. С их помощью можно решать широкий круг задач, связанных с мониторингом территориально распределенных объектов и систем, таких как, экологическая раз-



ведка, работа в зоне стихийных бедствий, лесных пожаров, охрана протяженных объектов и территорий, медиа сопровождение массовых мероприятий, слежение за транспортной ситуацией в городских условиях и во многих других случаях [6].

Особенности самоорганизующихся сетей на базе беспилотных летательных аппаратов

Сети класса FANET (*Flying Ad-Hoc Network*) могут быть рассмотрены как особая разновидность сетей классов MANET (*Mobile Ad-Hoc Networks*) и VANET (*Vehicle Ad-Hoc Networks*) [7, 8]. Тем не менее, существуют определенные особенности, характерные только для сетей FANET и которые необходимо учитывать при моделировании:

- уровень мобильности узлов в сетях FANET значительно выше, чем в MANET или VANET;
- в результате высокой мобильности узлов имеет место стремительное изменение топологии сети;
- существующие самоорганизующиеся сети направлены на установление соединений вида peer-to-peer. Сети FANET также нуждаются в соединении peer-to-peer для координации беспилотных летательных аппаратов и взаимодействия между ними. Кроме того, большую часть времени в FANET происходит сбор данных (видео, изображения и т. д.) из окружающей среды и передача их в центр управления, подобно сенсорным сетям. Следовательно, сеть FANET должна одновременно поддерживать одноранговое соединение между узлами и сводить медиа-трафик в одну точку сети;
- расстояния между узлами в сетях FANET, как правило, больше, чем в MANET или VANET. Поэтому, чтобы установить канал связи между БПЛА, необходимо обеспечить более протяженную дальность связи. Это, в свою очередь, скажется на характере радиоканала и на выбор оборудования;
- сеть, состоящая из нескольких БПЛА, может содержать различные виды сенсоров, для каждого из которых могут потребоваться разные алгоритмы доставки данных [9].

Разработка имитационной модели сети на базе БПЛА

В данной работе проводится исследование сети ad-hoc, в качестве узлов которой представлены беспилотные летательные аппараты. Один из узлов подключен к наземному пункту связи, на который отправляются все собранные медиа-данные. С наземного пункта осуществляется контроль над группой БПЛА и отслеживание состояния ее узлов. Взаимодействие узлов сети осуществляется по принципу каждый с каждым. Топология сети изображена на рис. 1.

По исследуемой сети помимо служебного трафика передается поток медиа-данных (например: видео, изображения). Наиболее строгие требования к качеству обслуживания, оборудованию и параметрам сети предъявляет наиболее чувствительный к ним вид трафика – потоковое видео [10]. Поэтому для повышения эффективности функционирования сети целесообразно учитывать особенности такого вида трафика.



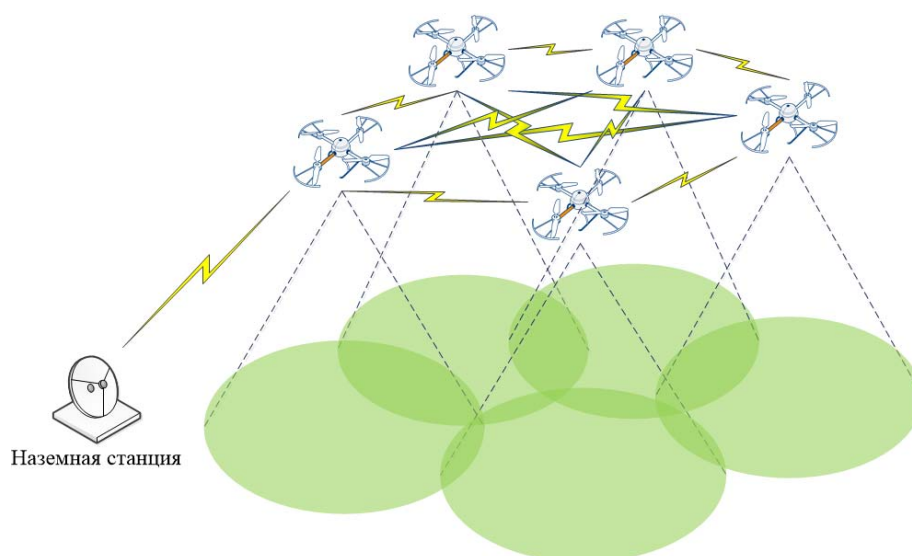


Рис. 1. Топология исследуемой сети

В соответствии с сетевой моделью OSI в моделируемой сети можно выделить уровни: физический, канальный, сетевой, транспортный и уровень приложений. На физическом и канальном уровнях реализуется технология 802.11, она определяет параметры беспроводного канала связи, а именно:

- мощность передатчика Wi-Fi;
- технологии помехоустойчивого кодирования;
- допустимую скорость передачи данных.

На физическом и канальном уровнях следует учитывать взаимное воздействие устройств связи друг на друга [11, 12].

Основные параметры, задаваемые для технологии 802.11 в рамках исследования:

- модель физического и канального уровней описывается в сетевом симуляторе Yans ("Yet another network simulator"). Yans – это дискретно-событийный сетевой симулятор, основанный на методе Монте-Карло. Yans подразделяется на такие интерактивные уровни, как: ядро, топология и узлы.

- версия стандарта – 802.11n;
- частотный диапазон – 2,4 ГГц;
- порог энергии принимаемого сигнала, при превышении которого на физическом уровне начинается обнаружение сигнала – (-)100 дБ;
- модель задержки распространения – с постоянной скоростью;
- модель потерь пакетов при распространении по беспроводному каналу – модель Фрииса;

- на подуровне MAC задается режим ad-hoc Wi-Fi.

На сетевом уровне работает протокол IPv4. Адреса узлов назначаются из указанного диапазона (10.1.1.0 – 255.255.255.0).

В качестве протоколов маршрутизации используются протоколы OLSR и AODV, работающие на сетевом уровне [13].

На транспортном уровне используется протокол UDP.

На уровне приложений с использованием протокола реального времени RTP передается потоковое видео.



Модель мобильности

Одним из факторов, определяющих степень соответствия модели имитационного моделирования сети на базе мобильных узлов, является выбор адекватной модели перемещения подвижных сетевых устройств.

В процессе выбора модели мобильности обычно принимаются во внимание следующие моменты:

- стремление наиболее адекватно учесть особенности перемещения узлов с позиции их влияния на аспекты передачи трафика в сети;
- необходимость учитывать ограничения по ресурсам моделируемой системы и влияние детализации описания движения на усложнение модели сети в целом;
- способность с помощью выбранной системы параметров учитывать изменчивость поведения целевой сети.

В рамках данной работы применялась марковская модель мобильности узлов (*gauss-markov-mobility-model*) [14].

Рассматриваемая модель является моделью с памятью, то есть текущая позиция узла в ней учитывает его положение на предыдущем шаге. Перемещение мобильных узлов в модели ограничивается прямоугольной областью, при достижении границ которой узел меняет направление своего движения на противоположное.

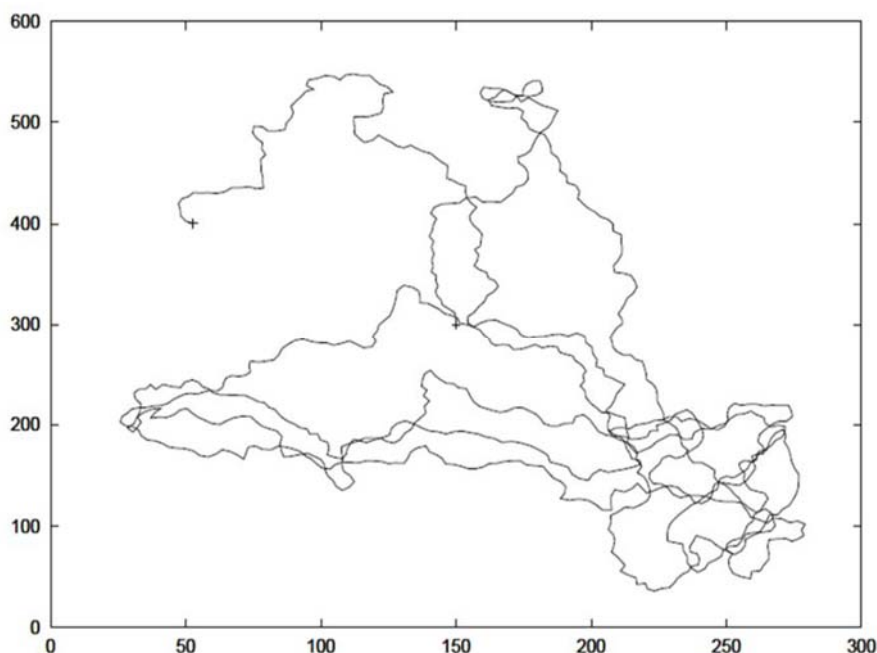


Рис. 2. Трасса мобильного узла, сгенерированная в рамках марковской модели мобильности

Характерная трасса узла, генерируемая при использовании марковской модели, показана на рис. 2. Достоинством модели является формирование сглаженных по скорости и направлениям траекторий перемещения, возможность в широких пределах варьировать параметры движения и степень неопределенности модели, например, для оптимального учета воздействия внешних факторов, вызывающих отклонение БПЛА от расчетных трасс полета.



План проведения исследований

Цель: изучение возможности и сравнительный анализ эффективности использования протоколов маршрутизации, применяемых в самоорганизующихся ad-hoc сетях, для построения сети на базе группировки мультироторных БПЛА.

В качестве базового инструмента для проведения исследования выбрана система моделирования ns-3 [15].

Для практической реализации целей исследования необходимо:

- 1) Уточнить постановочные условия имитационного моделирования:
 - конкретизация списка протоколов маршрутизации как базового объекта исследования;
 - выбор модели и параметров полезного трафика, и моделей фоновой активности узлов сети;
 - определение показателей качества;
 - выбор сценария и параметров описания мобильности узлов;
 - определение вариантов конфигураций топологии сети и базовых сценариев использования узлов;
 - определение технологий и параметров сетевого взаимодействия.
 - 2) Построить программный скрипт модели, отвечающий поставленным целям и вариантам тестирования сетевых характеристик:
 - определить порядок использования модели и необходимость доработки программного кода;
 - определить состав непосредственно измеряемых (отслеживаемых) сетевых характеристик и способы фиксации трассируемых параметров;
 - определить способ получения показателей качества и накопления статистических данных;
 - выбрать компоненты модели, реализующие функциональность сетевого стека и поведения узлов, задать параметры и реализовать атрибутивное конфигурирование свойств объектов, которые будут создаваться в рамках симуляции сети;
 - определить порядок и средства обработки первичной информации для получения и систематизации значений целевых показателей качества работы протоколов;
 - провести тестирование работоспособности и адекватности модели.
 - 3) На базе созданной модели для выбранных протоколов маршрутизации выполнить имитационное моделирование сенсорной сети для заданных сценариев и параметров мобильности абонентов, сетевых конфигураций и вариации параметров полезного и фонового трафика, провести обработку и накопление статистических данных.
 - 4) На основе полученных данных выполнить сравнительный анализ эффективности тестируемых протоколов.
 - 5) Определить направления дальнейших исследований.
- В процессе разработки программной модели симулируемой сети определены следующие постановочные условия и ограничения:
- операционная система – Ubuntu 14.04 LTS;
 - версия сетевого симулятора – ns-3.23;
 - выбор среды программирования, основанный на предпочтениях автора – язык программирования C++, использование кроссплатформенного фреймворка



Qt 5.4, сборка программ с помощью утилиты `qmake`, разработка модели в интегрированной среде программирования QT Creator3;

- трассировка событий с использованием встроенного механизма обратного вызова (*Callback*) и стандартных возможностей по сохранению потоков от predetermined источников событий, предоставляемых классом `flowmonitor`;

- использование возможностей утилиты `NetAnim` для визуализации перемещений мобильных узлов;

- поведение протоколов маршрутизации исследуется для вариантов группировок мультикоптеров, состоящих из 6, 10, 15 и 20 узлов;

- относительные скорости БПЛА варьируются в пределах от 0,1 м/с до 40 м/с;

- приемный узел модели имитирует наземную станцию с постоянным местом расположения;

- в качестве источника полезного трафика выступает один из узлов сети, узлом назначения всегда выступает узел сети, имитирующий наземную станцию;

- в качестве технологии организации беспроводных соединений выбран стек протоколов 802.11 (модель *YansWifiPhy/YansWifiChannel*), топология сети – одноранговая сеть, образуемая узлами, работающими в режиме Ad-hoc.

Программа на языке C++ представляет собой скрипт модели, обеспечивающей имитационное моделирование сети FANET на основе БПЛА в среде системы имитационного моделирования ns-3, релиз 3.23. Для обеспечения связности между абонентами используется стек протоколов технология Wi-Fi, диапазон частот 2,4 ГГц.

Суммарное время симуляции работы сети 200 сек. Передача видеотрафика и обмен фоновой информацией между узлами начинается в промежутке между 10-й и 11-й секундами и продолжается до окончания симуляции. Передача трафика симулируется потоком UDP дейтаграмм со скоростью передачи видеопотока – 2048 Мбит/с. Для имитации видеопотока на выходе источника задается последовательность пакетов фиксированной длины – 1024. При моделировании узлы перемещаются случайным образом в области, размером 800x800м (рис. 3).

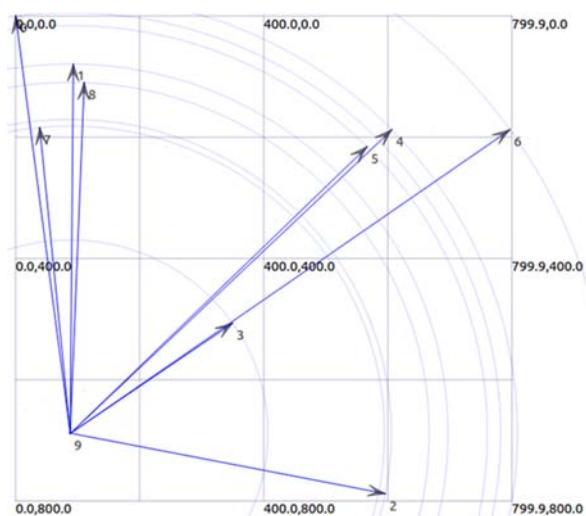


Рис. 3. Область охвата в интерфейсе Netanim



Анализ результатов имитационного моделирования

Анализ результатов исследования трафика

Для анализа результатов исследования трафика были рассмотрены такие характеристики, как: распределение задержки переданных пакетов данных и отношение служебного трафика к суммарному, переданному в ходе одной симуляции, трафику.

При проведении эксперимента были выбраны следующие параметры:

- количество узлов – 10;
- скорость движения узлов – 40 м/с;
- мощность передатчика – 16,5 dBm;
- протокол маршрутизации – AODV.

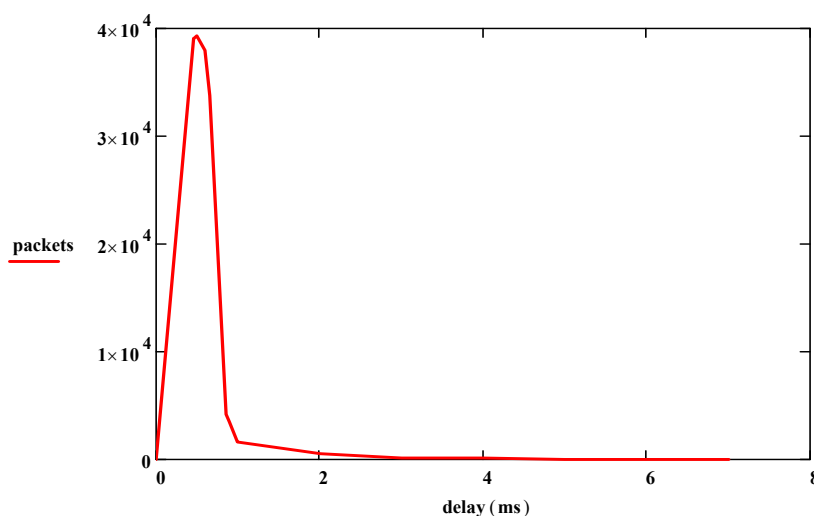


Рис. 4. Распределение задержки переданных пакетов данных

На графике видно (рис. 4), что большинство пакетов данных было передано с задержкой меньше 1 мс. Это говорит о том, что передача данных от источника к получателю наиболее часто осуществлялась с количеством скачков меньше единицы.

При исследовании процентного соотношения служебного трафика к суммарному проводилось несколько испытаний, в каждом из которых изменялось количество узлов сети (6, 10, 15 и 20). Для моделирования были установлены следующие параметры:

- скорость движения узлов – 40 м/с;
- мощность передатчика – 16,5 dBm;
- протокол маршрутизации – AODV.

Из графика (рис. 5) следует, что с увеличением количества узлов сети, объем служебного трафика также растет. Объясняется это тем, что, чем больше узлов находится в сети, тем интенсивнее между ними происходит обмен информацией, связанной с маршрутизацией. Поэтому основной задачей при построении сетей класса FANET является выбор оптимального протокола маршрутизации, который способен максимально ограничить количество служебных сообщений, не оказывая при этом негативного влияния на качество передачи данных по сети.



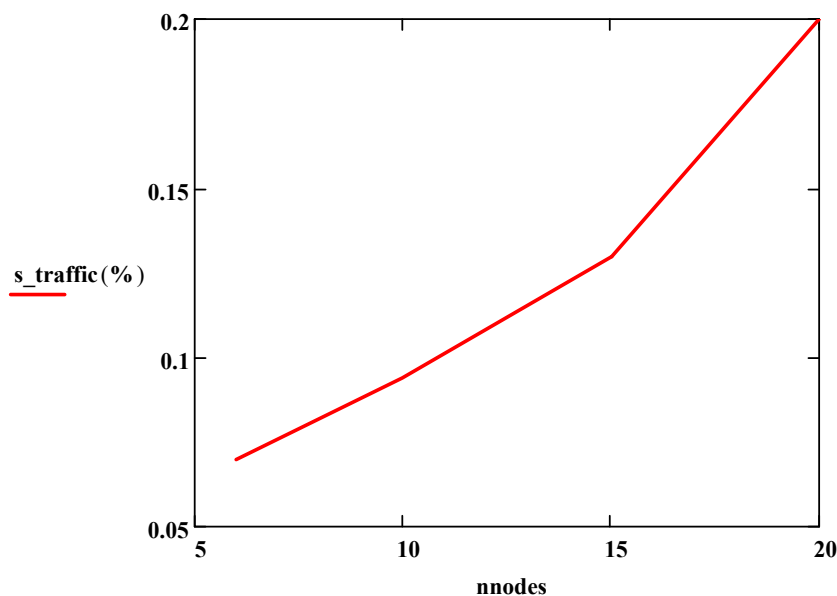


Рис. 5. Соотношение служебного и суммарного трафиков

Следует отметить, что в данном эксперименте даже при наибольшем значении количества узлов процент служебного трафика меньше единицы. Это может быть связано, в первую очередь, с тем, что разработанная в рамках данного исследования модель сети является достаточно упрощенной, по сравнению с реальной сетью, и не учитывает, как наличие «фонового» трафика от других узлов, помимо источника, так и служебную информацию, не связанную с маршрутизацией.

Анализ результатов исследования качества обслуживания

Для оценки качества обслуживания были выбраны такие показатели, как коэффициент потерь пакетов данных и среднее время доставки пакетов данных (средняя задержка).

В ходе первой серии экспериментов фиксировалась тенденция изменения показателей качества обслуживания в зависимости от количества узлов (БПЛА) в исследуемой сети.

При этом были заданы следующие параметры моделирования:

- скорость движения мобильных узлов – 40 м/с;
- мощность передатчика – 16,5 dBm.

Опыты проводились с использованием протоколов маршрутизации AODV и OLSR.

При выбранных параметрах моделирования и конфигурации сети наиболее приемлемые результаты работы протоколов оказываются при количестве узлов 10–15, дальнейшее увеличение количества узлов не приводит к улучшению показателей качества обслуживания и намечается рост средней задержки доставки пакетов. Поэтому можно говорить о наличии оптимального количества БПЛА при выбранных топологии сети, технологии передачи данных и параметрах трафика.

Если сравнивать между собой протоколы маршрутизации, то у протокола AODV потери пакетов в среднем больше, чем у OLSR. Однако при рассмотрении

средней задержки AODV показывает лучший результат, в то время как в сети из пяти узлов, в которой используется протокол OLSR, значение средней задержки в два раза выше, чем при использовании проактивного протокола маршрутизации.

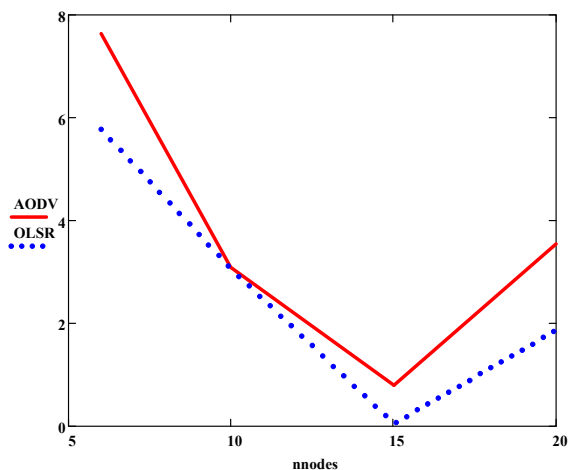


Рис. 6. Потери пакетов, %

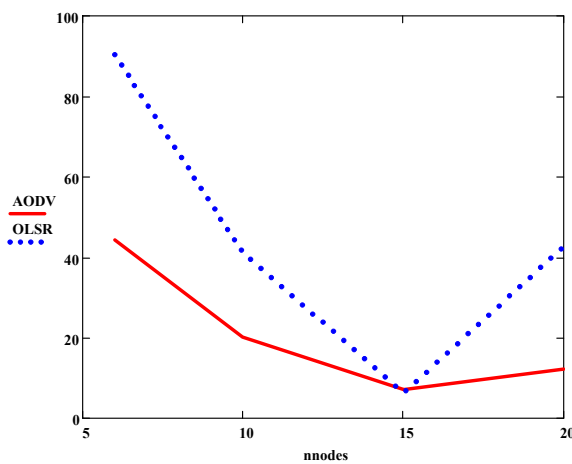


Рис. 7. Средняя задержка, мс

На основании графиков (рис. 6, 7), можно сделать вывод, что применение групповой тактики в целом приводит к существенному улучшению качества потокового трафика от сенсоров БПЛА.

В ходе второй серии экспериментов фиксировалась тенденция изменения показателей качества обслуживания в зависимости от скорости движения мобильных узлов сети.

При этом были заданы следующие параметры моделирования:

- количество узлов – 10;
- мощность передатчика – 16,5 dBm.

Опыты проводились с использованием протоколов маршрутизации AODV и OLSR.

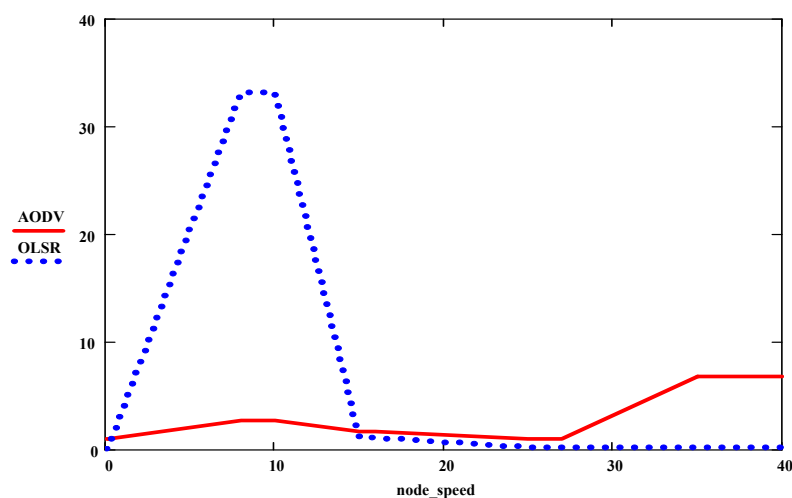


Рис. 8. Потери пакетов, %



Аномальный всплеск значений потери пакетов на кривой (рис. 8), соответствующей работе протокола OLSR, при значениях скорости узлов порядка 10 м/с объясняется, вероятно, невозможностью найти маршрут с учетом плотности узлов и мобильности БПЛА при выходе узла источника данных из зоны непосредственной досягаемости по отношению к узлу-приемнику.

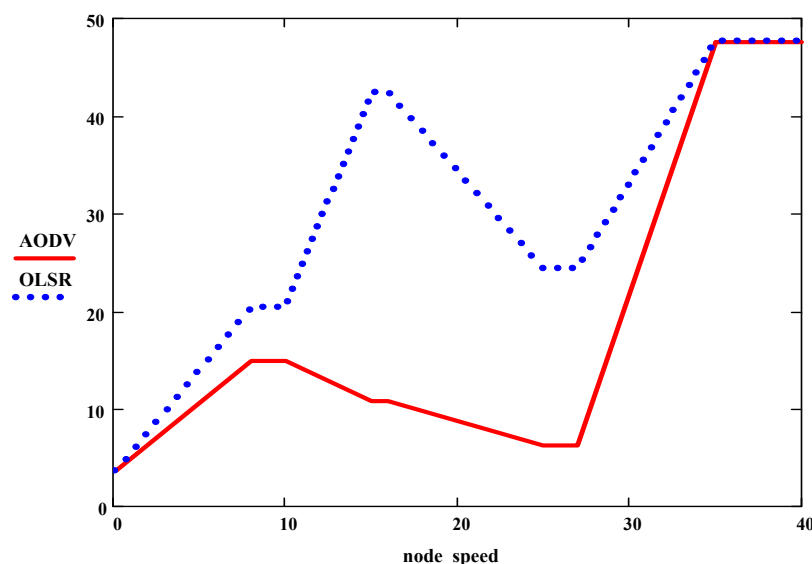


Рис. 9. Средняя задержка, мс

На графике (рис. 9) также наблюдается резкое увеличение задержки при работе протокола OLSR с установленной скоростью движения БПЛА около 16 м/с. Это может свидетельствовать о значительном росте количества служебных сообщений в заданных условиях моделирования.

В то же время протокол AODV показывает хорошие результаты как в отношении потерь пакетов, так и относительно средней задержки. Однако это справедливо лишь для скорости движения узлов сети, меньшей 27 м/с. Данный факт свидетельствует о том, что протокол маршрутизации AODV в большей степени подходит для работы в сетях класса MANET, где мобильность узлов не столь высока. А указанные ограничения при работе данного протокола в сети FANET, говорит о необходимости создания новых протоколов маршрутизации, а также совершенствования уже существующих протоколов с целью их адаптации к специфическим особенностям самоорганизующихся сетей на базе БПЛА.

Выводы и рекомендации по построению сети на базе БПЛА

1. Результаты имитационного моделирования самоорганизующейся сети на базе БПЛА показали, что разработанная модель исправно функционирует и обеспечивает передачу данных приемлемого качества от узла-источника до наземной станции. В то же время, существует необходимость доработки модели с целью приближения ее к реальной сети. Добиться этого можно за счет задания «фонового» полезного трафика от других узлов, учета служебного трафика, не относящегося к маршрутизации, применения реальных видеофайлов в качестве генерируемого видеотрафика и др.



2. В качестве модели мобильности рекомендуется использовать более организованный алгоритм движения узлов. Например, задание центрального узла группировки, относительно которого назначаются позиции других узлов.

3. Полезным также представляется внедрение в имитационную модель более современных и адаптированных к сетям класса FANET протоколов маршрутизации, таких, как, например, B.A.T.M.A.N и BABEL.

Заключение

Проведенное в настоящей работе имитационное моделирование самоорганизующейся сети на базе БПЛА с использованием пакета ns-3 показало работоспособность как используемых протоколов маршрутизации (AODV, OLSR), так и сети в целом.

В ходе сравнительного исследования протоколов AODV и OLSR было выявлено преимущество протокола AODV при анализе таких показателей качества, как потери пакетов и средняя задержка. При этом оба протокола показали, в целом, хорошие результаты. Так, при исследовании средней задержки все показатели не превышали норму. Коэффициент потери пакетов хотя и был выше допустимого значения, но не значительно. Также было установлено ограничение по скорости узлов до 27 м/с, при превышении которой для протокола AODV наблюдалась деградация качества передачи данных.

В данной работе имело место случайное движение узлов в пределах заданной области, что сделало процесс маршрутизации довольно сложным. Более эффективным представляется применение регулярной конфигурации узлов, оптимизированных для задач транспортировки потока данных. При этом качественные показатели сети в целом будут значительно улучшены.

Кроме этого, для лучшей работоспособности сети рекомендуется:

- учитывать полученные в ходе моделирования оптимальное соотношение количества узлов сети и скорость их перемещения;
- рассматривать преимущества группового взаимодействия узлов при совместном выполнении миссии.

В работе было продемонстрировано главное преимущество сетей FANET, а именно увеличение зоны охвата за счет применения группировки нескольких БПЛА. В данном случае площадь охватываемой области составила 640 000 м², однако при правильном подходе к выбору параметров модели сети существует возможность еще большего расширения зоны охвата.

В дальнейшем предполагается провести практические испытания на базе модельной сети лаборатории Интернет Вещей Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича [16, 17, 18].

Литература

1. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Богданов И. А., Дорт-Гольц А. А. Летающие сенсорные сети // Электросвязь. 2014. № 9. С. 2–5.
2. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В. Летающие сенсорные сети – новое приложение Интернета Вещей // Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». СПб.: СПбГУТ, 2015. С. 17–22.



3. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В. Теоретические и практические направления исследований в области летающих сенсорных сетей // *Электросвязь*. 2015. № 7. С. 9–11.
4. Киричек Р. В., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Кучерявый А. Е. Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2014. № 4. С. 29–41. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/4-14.pdf>
5. Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // *Lecture Notes in Computer Science*, 2015. Vol. 9247. pp. 299–308.
6. Kirichek R. The Model of Data Delivery from the Wireless Body Area Network to the Cloud Server with the use of Unmanned Aerial Vehicles // *30th European Conference on Modeling and Simulation (ECMS 2016)*, 2016. pp. 603–606.
7. Ankur O. Bang, Prabhakar L. Ramteke, MANET: History, Challenges and Applications // *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*. 2013. Vol. 2. Iss. 9. pp. 249–251. URL: <http://ijaiem.org/volume2issue9/IJAIEM-2013-09-27-063.pdf>
8. Datey S. G., Ansari T. Mobile Ad hoc Networks Its Advantages and Challenges // *International Journal of Electrical and Electronics Research*. 2015. Vol. 3. Iss. 2. pp. 491–496.
9. Md. Tareque H., Md. Hossain S. On the Routing in Flying Ad hoc Networks // *Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2015. pp. 1–9.
10. Jursonovics T. Enhanced Methods for IPTV Delivery over Wireless Networks // *Dissertation at the University of Applied Sciences*. Darmstadt, 2014.
11. Kirichek R., Kulik V. Methods of Test Flying Ubiquitous Sensor Networks // *Международная конференция «Распределенные компьютерные и коммуникационные сети: управление, вычисление, связь»*, 2015. С. 489–499.
12. Кулик В. А., Киричек Р. В., Бондарев А. Н. Методы исследования беспроводных каналов связи Интернета Вещей в условиях совместной работы // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2015. № 1. С. 106–114. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
13. Метелёв А. П., Чистяков А. В., Жолобов А. Н. Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях // *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2013. № 3 (1). С. 75–78. URL: [http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/99999999_West_2013_3\(1\)/12.pdf](http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/99999999_West_2013_3(1)/12.pdf)
14. Liang B, Haas Z. Predictive Distance-Based Mobility Management for PCS Networks // *Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, 1999. Vol. 3. pp. 1377–1384. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/073b/c173609570544a63770d0ce51ce17dd079e5.pdf>
15. Atta ur Rehman Khan, Bilal S. M., Othman M. A Performance Comparison of Network Simulators for Wireless Networks // *Article in Cornell University Library*, 2013.
16. Киричек Р. В., Владыко А. Г., Захаров М. В., Кучерявый А. Е. Модельные сети для Интернета Вещей и программируемых сетей // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2015. № 3 (11). С. 17–26. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>
17. Kirichek R., Koucheryavy A. Internet of Things Laboratory Test Bed // *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2016. Vol. 348. pp. 485–494.
18. Kirichek R., Vladyko A., Zakharov M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // *18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT)*, 2016. pp. 76–79.

References

1. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V., Paramonov, A. I., Prokopiev, A. V., Bogdanov, I. A., Dort-Goltz, A. A. Flying Sensor Networks // *Electrosvyaz'*. 2014. No. 9. pp. 2–5.
2. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V. Flying Sensor Networks – New Application of the Internet of things // *International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference: Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education*. SPb. : The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, 2015. pp. 17–22.
3. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V. Theoretical and Practical Directions in the Area of Flying Sensor Network Research // *Electrosvyaz'*. 2015. No. 7. pp. 9–11.
4. Koucheryavy, A. E., Kirichek, R. V., Paramonov, A. I., Prokopiev, A. V. The Investigation Evolution in the Wireless Sensor Networks Area // *Telecom IT*. 2014. No. 4. pp. 29–41. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/4-14.pdf>



5. Koucheryavy, A., Vladyko, A., Kirichek, R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // Lecture Notes in Computer Science, 2015. Vol. 9247. pp. 299–308.
6. Kirichek, R. The Model of Data Delivery from the Wireless Body Area Network to the Cloud Server with the use of Unmanned Aerial Vehicles // 30th European Conference on Modeling and Simulation (ECMS 2016), 2016. pp. 603–606.
7. Bang, A. O., Ramteke, P. L. MANET: History, Challenges And Applications // International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management. 2013. Vol. 2. Iss. 9. pp. 249–251.
8. Datey, S. G., Ansari, T. Mobile Ad-Hoc Networks Its Advantages and Challenges // International Journal of Electrical and Electronics Research. 2015. Vol. 3. Iss. 2. pp. 491–496.
9. Md. Tareque H., Md. Hossain S. On the Routing in Flying Ad hoc Networks // Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2015. pp. 1–9.
10. Jursonovics T. Enhanced Methods for IPTV Delivery over Wireless Networks // Dissertation at the University of Applied Sciences. Darmstadt, 2014.
11. Kulik, V., Kirichek, R. Methods of test Flying Ubiquitous Sensor Networks // Distributed Computing and Communication Networks: Management, Calculation, Communication. 2015. pp. 489–499.
12. Kulik, V. A., Kirichek, R. V., Bondarev, A. N. Research Methods Wireless Channel of Internet of Things in other Networks Interference // Telecom IT. 2015. No. 1. pp. 106–114. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
13. Metelyov, A. P., Chistyakov, A. V., Zholobov, A. N. Routing Protocols in Wireless Ad Hoc Networks // Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. 2013. No. 3 (1). pp. 75–78. URL: [http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/999999999_West_2013_3\(1\)/12.pdf](http://www.unn.ru/pages/issues/vestnik/999999999_West_2013_3(1)/12.pdf)
14. Liang, B, Haas, Z. Predictive Distance-Based Mobility Management for PCS Networks // Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), 1999. Vol. 3. pp. 1377–1384. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/073b/c173609570544a63770d0ce51ce17dd079e5.pdf>
15. Atta ur Rehman Khan, Bilal, S. M., Othman, M. A Performance Comparison of Network Simulators for Wireless Networks // Article in Cornell University Library, 2013.
16. Kirichek, R. V., Vladyko, A. G., Zakharov, M. V., Koucheryavy, A. E. Model Networks for Internet of Things and SDN // Telecom IT. 2015. No. 3 (11). pp. 17–26. URL: <https://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>
17. Kirichek, R., Koucheryavy, A. Internet of Things Laboratory Test Bed // Lecture Notes in Electrical Engineering, 2016. Vol. 348. pp. 485–494.
18. Kirichek, R., Vladyko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICTACT), 2016. pp. 76–79.

Дорохова Анна Анатольевна

– магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, annadorru@gmail.com

Парамонов Александр Иванович

– доктор технических наук, профессор, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, alex-in-spb@yandex.ru

Dorohova Anna

– undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, annadorru@gmail.com

Paramonov Alexander

– D.Sc., professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, alex-in-spb@yandex.ru

