

УДК 621.391

И. А. Кайсина, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
Д. С. Васильев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова
А. В. Абилов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ OLSR И AODV В ЛЕТАЮЩЕЙ СЕТИ FANET*

Введение

В последние годы наибольшее развитие произошло в сфере робототехники и автоматизации различного оборудования. Одним из самых ярких примеров является разработка беспилотных летательных аппаратов.

Все БПЛА принято разделять на две группы – дроны и коптеры. Основным отличием является «манера» движения. Так, дроны двигаются постоянно, следовательно, топология сети меняется каждую секунду. При использовании одного дрона в целях воздушной съемки возникают проблемы с QoS на сетевом уровне. Во избежание этой проблемы и получения достоверной информации о наземных объектах используется не один, а сразу несколько дронов – рой дронов.

Рой дронов следует рассматривать как самостоятельную сеть FANET, в которой каждый отдельный дрон является потенциальным маршрутизатором. Но в отличие от обычной четкой иерархической структуры в данной сети может отсутствовать корневой узел и точка доступа. То есть каждый узел является не только непосредственным получателем или источником информации, но и ретранслятором (что повышает QoS). Как и в протоколах маршрутизации для статических сетей могут быть использованы различные алгоритмы и метрики. Метрика может определяться как количеством шагов до адресата, так и загруженностью в канале и другими путями.

Таким образом, эффективность функционирования данной сети в значительной степени определяется реализованными алгоритмами сетевого уровня. Актуальной проблемой является исследование эффективности протоколов маршрутизации [1–8], отвечающих за быструю и надежную передачу информации от адреса к получателю и в обратном направлении.

Самоорганизующиеся сети FANET

Сеть FANET, или самоорганизующаяся сеть беспилотных летательных аппаратов – это Ad Hoc-сеть, включающая в себя воздушные объекты, между которыми устанавливается соединение и постоянная связь [9]. В отличие от сетей MANET и VANET (сеть наземных транспортных средств) FANET характеризуется значительно более высокой мобильностью узлов и быстрым изменением сетевой топологии.

С точки зрения топологии сеть FANET следует рассматривать как mesh-сеть или сеть с многосвязной топологией (рис. 1). В данной топологии точки доступа не только предоставляют услуги доступа, но

и выполняют функции ретрансляторов для других узлов той же сети. Благодаря этому появляется возможность резервирования каналов, что крайне важно при передаче потокового трафика.

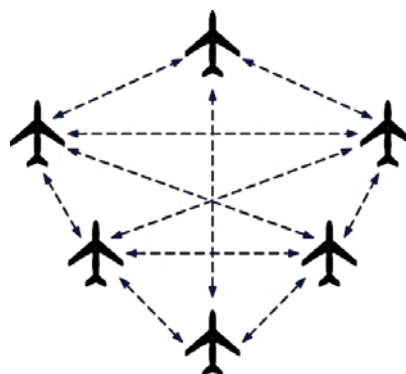


Рис. 1. Многосвязная топология сети FANET

Протоколы маршрутизации в самоорганизующихся сетях

На сетевом уровне в самоорганизующихся сетях наиболее широкое распространение получили протоколы AODV и OLSR, которые в настоящее время активно исследуются научным сообществом для применения в качестве протоколов маршрутизации в сетях FANET. Протокол AODV (Ad hoc On-Demand distance Vector) – протокол динамической маршрутизации для мобильных самоорганизующихся (ad-hoc) сетей. Устанавливает маршрут до адресата по требованию и является реактивным. Для вычисления маршрутов использует дистанционно-векторный алгоритм маршрутизации [10]. Протокол OLSR (Optimized Link-State) – протокол динамической маршрутизации на основе состояния канала для мобильных самоорганизующихся (ad-hoc) сетей, являющийся проактивным и использующий 3 вида управляющих сообщений: приветствия (HELLO-messages), контроля топологии (Topology Control, TC), объявления множественного интерфейса (Multiple Interface Declaration, MID). Каждый узел строит таблицу маршрутизации на основе регулярных обновлений. Маршрут считается оптимальным, если имеет наименьшее число переходов до узла-получателя [11].

В условиях сети с летающими узлами также представляет научный интерес случай без применения динамического протокола маршрутизации, иначе говоря, с использованием статической маршрутизации. Особенностью статической маршрутизации

в беспроводных сетях, например, сетях стандарта 802.11n, является широкополосное вещание сообщений, отправляемых с беспроводного интерфейса всем узлам-соседям. Каждый узел-сосед может распознать принятое сообщение, т. е. он находится в зоне радиослышимости узла-источника.

Имитационное моделирование протоколов маршрутизации

Для исследования эффективности функционирования рассматриваемых протоколов маршрутизации используется программная среда имитационного моделирования NS-3 с открытым исходным кодом. Сценарий имитационного моделирования заключается в передаче видеопотока с камеры одного из группы летающих узлов на наземную станцию в пределах территории, ограниченной квадратной областью. Наземная станция располагается в центре квадратной области и является неподвижной. Имитационное моделирование проводится для различных исходных значений параметров сценария. Сторона квадрата m принимает значение от 500 до 1500 м с шагом в 250 м (рис. 2). В пределах квадратной области перемещаются несколько (для каждого моделирования используются значения 10, 15 и 20) узлов со скоростью движения 50 м/сек. Один случайно выбранный летающий узел передает потоковые видеоданные на наземную станцию со скоростью 1 Мбит/сек. Размер одного пакета составляет 1250 байт.

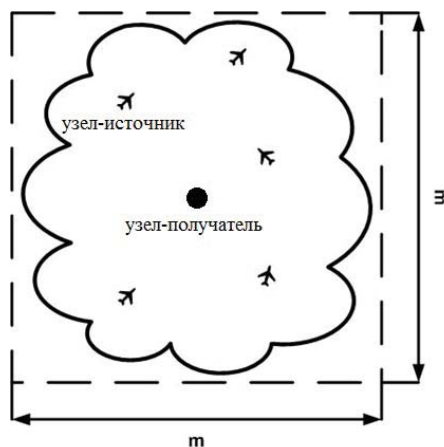


Рис. 2. Топология исследуемой сети

Для оценки эффективности работы тестируемых протоколов маршрутизации была выбрана метрика – коэффициент доставки пакетов (PDR – Packet Delivery Ratio), равный отношению измеренного количества принятых наземной станцией пакетов к измеренному количеству переданных летающим узлом пакетов. Выбранная топология и сценарий позволили оценить средний коэффициент доставки пакетов (PDR_{ave}). Для имитационного моделирования по заданному сценарию была разработана имитационная модель, реализованная в виде программного кода на языке C++, используемом в среде NS-3. Разработанный программный код выполняет действия в определенной последовательности: к ядру программы подключаются необходимые модули; производится

конфигурация параметров физического уровня сетевой среды моделирования (задаются параметры стандарта беспроводной связи WiFi 802.11n и модель распространения радиосигнала); на канальном уровне настраивается интернет-стек; программируется сетевой уровень (подключение протоколов маршрутизации AODV и OLSR, статической маршрутизации, задание IP-адресов и маски подсети); создается множество мобильных узлов и реализуется модель их мобильности; реализуется стационарный узел и реализуются клиентские и серверные приложения с UDP-трафиком; производится создание файла для внешнего визуализатора NetAnim и организуется вывод статистики в окно терминала и текстовый документ.

Для каждого протокола моделирование в имитационной среде NS-3 проводилось в несколько этапов. Такой подход позволил получить более точные данные для составления графиков, основанных на измерениях. На первом этапе имитационного моделирования изменялось количество летающих узлов n от 10 до 20 с шагом в 5. Движение всех летучих узлов было ограничено квадратной областью со стороной m , значения которой изменялись от 500 до 1500 м с шагом в 250 м. Сначала были произведены все измерения для статической маршрутизации, затем для протоколов OLSR и AODV.

По результатам моделирования был измерен средний коэффициент доставки пакетов (PDR_{avr}). Данная метрика рассчитывалась для каждого протокола маршрутизации с различными вариациями m . Таким образом, для каждого полученного значения метрики было проведено по 20 симуляций. Затем по всем 20 полученным значениям находилось среднее арифметическое; все это позволило свести доверительный интервал к минимуму.

Результаты имитационного моделирования

Первая симуляция была произведена для различного количества узлов n при статической маршрутизации. Коэффициент доставки пакетов рассчитывался отдельно для заданных значений n узлов. Также изменялась сторона квадрата m от 500 до 1500 с шагом в 250. Каждое измерение было проделано 20 раз с учетом случайного расположения всех узлов. Результаты имитационного моделирования представлены на рис. 3 в виде зависимости PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m при различном количестве узлов (от 10 до 20 с шагом 5).

Во второй симуляции использовался проактивный протокол OLSR, в котором каждый узел строит свою таблицу маршрутизации. Так же, как и для статической маршрутизации, каждое измерение производилось по 20 раз с учетом случайного расположения всех узлов. Результаты имитационного моделирования для протокола OLSR представлены на рис. 4 в виде зависимости PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m при различном количестве узлов.

Третья симуляция проводилась для реактивного протокола AODV, в котором маршрут до узла-назначения устанавливается по требованию. Результаты имитационного моделирования представлены

на рис. 5 в виде зависимости PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m при различном количестве узлов.

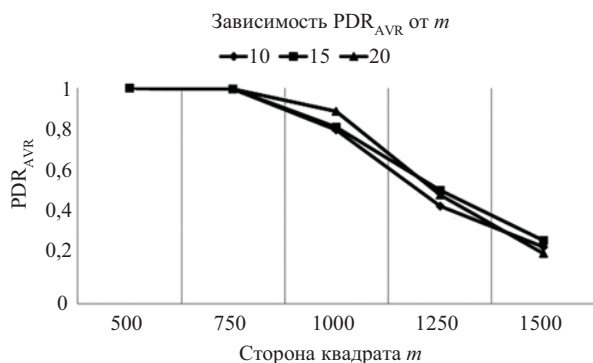


Рис. 3. Зависимость PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m для разного количества узлов n при статической маршрутизации

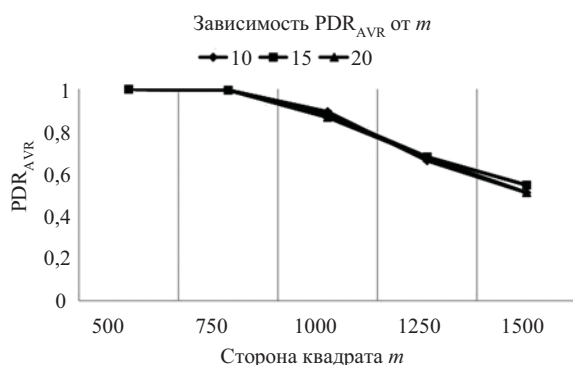


Рис. 4. Зависимость PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m для разного количества узлов n при маршрутизации OLSR

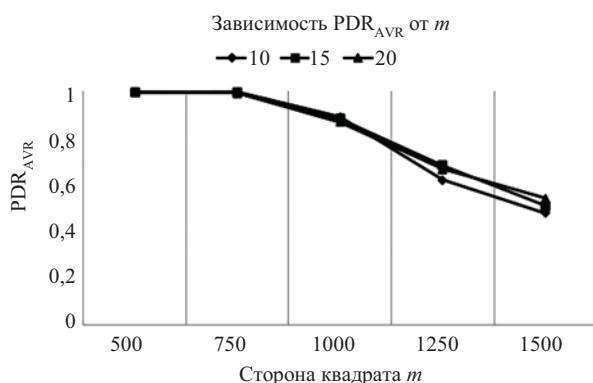


Рис. 5. Зависимость PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m для разного количества узлов n при маршрутизации AODV

По результатам всех измерений для каждого отдельного протокола маршрутизации при разных значениях m и n были вычислены значения PDR_{ave} для различных значений стороны квадрата области m . Усредненные результаты имитационного моделирования представлены на рис. 6 в виде зависимости

PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m для трех видов маршрутизации: статическая, OLSR и AODV.

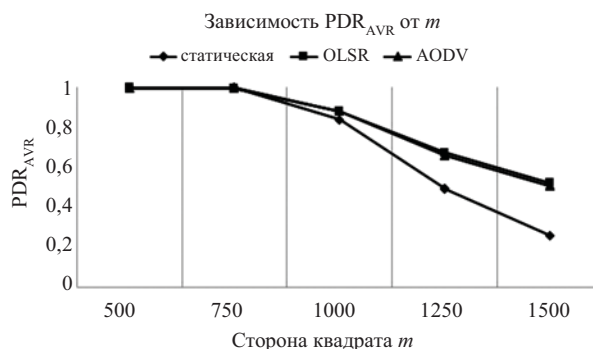


Рис. 6. Зависимость PDR_{ave} от длины стороны квадрата области m для различных протоколов маршрутизации

Результаты показывают, что ухудшение работы всех трех протоколов маршрутизации начинается с увеличением длины стороны квадрата $m = 750$ и более. Наиболее явное ухудшение PDR_{ave} можно наблюдать в работе статической маршрутизации: падение до 0,26, что приравнивается к ухудшению на 74 %. Протоколы OLSR и AODV показали фактически одинаковые результаты: для них значение падения PDR_{ave} составило до 0,52 у OLSR и до 0,51 у AODV, на 48 и 49 % соответственно. В целом эффективность работы статической маршрутизации и протоколов маршрутизации OLSR и AODV в условиях летающих узлов сети FANET не являются приемлемыми. Следовательно, в этой области требуется поиск новых алгоритмов и протоколов передачи и маршрутизации потоковых видеоданных.

Заключение

В работе оценена эффективность протоколов маршрутизации OLSR и AODV в самоорганизующейся сети FANET. Самоорганизующаяся сеть FANET включает в себя один стационарный наземный узел, который выступал в роли получателя видеопотока, а также от 10 до 20 летучих узлов, движущихся со скоростью 50 м/сек. Один из летающих узлов передавал потоковые данные на наземный узел со скоростью 1 Мбит/сек. Рассмотренный сценарий мобильности был реализован в программной среде имитационного моделирования NS-3. Рассмотренная топология самоорганизующейся сети FANET позволяет оценить качество обслуживания с помощью коэффициента доставки пакетов (PDR). По результатам моделирования измерен средний коэффициент доставки пакетов (PDR_{ave}) при различных исходных данных самоорганизующейся сети FANET.

Протоколы динамической маршрутизации OLSR и AODV продемонстрировали схожие результаты по метрике PDR_{ave} для выбранного сценария мобильности при скорости движения узлов 50 м/сек. и количестве летучих узлов n равном 10, 15 и 20. В результате проведенного исследования продемонстрирована низкая эффективность использования протоколов маршрутизации AODV и OLSR.

Библиографические ссылки

1. Павлова М. М., Абилов А. В. Оценка эффективности алгоритма ARQ при передаче потоковых данных в WLAN // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6, № 7. – С. 141–145.
2. Чунаев А. В., Абилов А. В., Нистюк А. И. Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6, № 7. – С. 219–224.
3. Васильев Д. С., Чунаев А. В., Абилов А. В. Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P-сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т. 8, № 1. – С. 10–14.
4. Абилов А. В., Васильев Д. С. Повышение качества передачи потоковых данных в сетях БПЛА с помощью PULL-PUSH-подхода // Инфокоммуникационные технологии. – 2014. – Т. 12, № 4. – С. 45–50.
5. Чунаев А. В., Абилов А. В., Павлова М. М. Алгоритм AL-ARQ для потоковой доставки видеоданных в беспроводной локальной сети // Инфокоммуникационные технологии. – 2015. – Т. 13, № 1. – С. 68–73.
6. Павлова М. М., Абилов А. В. Математическая модель передачи потоковых данных прикладного уровня по беспроводным каналам связи // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7, № 11. – С. 142–146.
7. Емельянов В. Н., Абилов А. В. Применение адаптивных алгоритмов управления с использованием временно-го окна для передачи потоковых данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6, № 7. – С. 85–90.
8. Ревило О. А., Емельянов В. Н., Абилов А. В. Алгоритмы оценки потерь пакетов с адаптацией по выборке для сетей передачи потоковых данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6, № 7. – С. 161–164.
9. Чаплышкин В. А. Использование беспилотных летательных аппаратов для организации воздушной одноранговой сети // Россия молодая: передовые технологии в промышленность (Омск-2015). – Омск : Изд-во Омского гос. техн. ун-та, 2015. – С. 351–355.
10. 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. – ISSN: 0013-5771.
11. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В. Летающие сенсорные сети – новое приложение интернета вещей // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании : IV Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. : сб. науч. ст. : в 2 т. – СПб. : Санкт-Петербургский гос. ун-т телеком. им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2015. – С. 17–22.

Получено 19.01.2017