

тисервисная сеть может быть реализована на основе использования в качестве модели системы массового обслуживания наиболее общего вида $M/M/n/m$ с последующими функциональными преобразованиями входного трафика в пуассоновский закон. Такой подход дает возможность решить задачу обработки произвольного трафика экспоненциальной сетью, делая ее инвариантной к структуре входного трафика.

Литература

1. Патент RU 2413284. Способ снижения влияния самоподобности в сетевых структурах и устройство для его осуществления /

Линец Г.И., Фомин Л.А., Скоробогатов С.А., Криволапов Р.В. Оpubл. 27.02.2011.

2. Линец Г.И., Фомин Л.А., Зданевич С.Н., Ватага А.И., Павленко Н.А. Синтез сети передачи данных по объективным показателям // Радиоэлектроника. Т. 44, №10, 2001. – С. 41-48.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.
4. Линец Г.И., Чапура О.М., Дряева Л.В. Имитационная модель оценки основных показателей транспортной сети. Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012611831 от 17.02.2012.

BUILDING MULTI-NETWORKS BASED ON FUNCTIONAL TRANSFORMATIONS TRAFFIC

Linets G.I., Fomin L.A., Govorova S.V., Medenets V.V.

For the construction of multi-service networks is proposed to use a model QS type $M/M/n/m$ and achieving invariance to the structure of the processed network traffic due to its conversion and use properties of the invariance of the form of the differential probability and independent variables.

Keywords: management, stochastic processes, self-similar packet flow, functional transformation, multi-service network, converting traffic.

Линец Геннадий Иванович, д.т.н., доцент, заведующий Кафедрой инфокоммуникаций (ИК) Северо-Кавказского федерального университета (СКФУ). Тел. 8-919-733-71-32. E-mail: kbytw@mail.ru

Фомин Лев Андреевич, к.т.н., профессор Кафедры ИК СКФУ, Тел. 8-918-864-50-67. E-mail: fomin.lev@mail.ru

Говорова Светлана Владимировна, старший преподаватель Кафедры информационной безопасности автоматизированных систем (ИБ АС) СКФУ. Тел. 8-962-449-89-92. E-mail: mit-nik2@yandex.ru.

Меденец Виктор Владимирович, ассистент Кафедры ИБ АС СКФУ. E-mail: alximik2012@mail.ru.

УДК 621.391

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ В СЕТЯХ БПЛА С ПОМОЩЬЮ PULL-PUSH-ПОДХОДА

Абилов А.В., Васильев Д.С.

В статье исследуется качество передачи потоковых данных в мобильной беспроводной самоорганизующейся сети (Mobile Ad hoc Network, MANET) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с помощью среды имитационного моделирования NS-3. Выбранная топология сети включает в себя узел-источник, узел-адресат и промежуточный узел. В качестве протоколов маршрутизации используются протоколы AODV и OLSR. Качество передачи потоковых данных оценивается на основании среднего коэффициента доставки фрагментов PDR_{ave} и средней скорости доставки полезных данных R_{ave} . Для улучшения качества передачи был разработан алгоритм доставки потоковых данных, основанный на

PULL-PUSH-подходе. В статье оценена эффективность предложенного алгоритма для данной топологии и протоколов маршрутизации AODV и OLSR.

Ключевые слова: беспроводные самоорганизующиеся сети, беспилотные летательные аппараты, одноранговые сети, качество обслуживания, имитационное моделирование.

Введение

В настоящее время активно развивается технология мобильных беспроводных самоорганизующихся сетей (Mobile Ad hoc Networks, MANET),

представляющая особый интерес для исследователей [1-2]. Сеть MANET может быть развернута для передачи данных в чрезвычайных ситуациях и развертывания сетей связи в труднодоступных местностях. Способность таких сетей к самоорганизации позволяет использовать их в качестве альтернативы инфраструктурным сетям.

Одной из задач, которые могут быть выполнены с помощью данной технологии, является организация передачи потокового видео в сети беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Сеть БПЛА (Flying Ad Hoc Network, FANET) представляет собой частный случай сети MANET: каждый узел такой сети высокомобилен и может быть связан с другими узлами с помощью беспроводной технологии, например семейства стандартов 802.11 [3-4]. В таком случае становится возможной многошаговая передача данных в самоорганизующейся сети высокомобильных узлов.

Постановка задачи

Несмотря на перспективность данного подхода, существует ряд ограничений для успешной передачи потоковых данных в сетях БПЛА. Ошибки передачи могут возникнуть вследствие потери маршрута или из-за беспроводной природы среды передачи. Таким образом, важной задачей является обеспечение гарантированной доставки потоковых данных в сетях MANET [5-6].

В простейшем случае, можно представить сеть трех узлов, в которой один узел является источником потоковых данных, второй узел – адресат, а третий узел обеспечивает связь между источником и адресатом, если они покидают область действия радиосвязи, то есть играет роль промежуточного узла. В качестве протокола маршрутизации в такой сети могут быть применены специальные протоколы для сетей MANET [7-8], например AODV [9] или OLSR [10]. Протокол AODV ищет маршруты в сети реактивно, то есть по мере надобности, в свою очередь, OLSR полагается на проактивный подход, и каждый узел под его управлением старается поддерживать актуальную информацию о сетевой топологии путем периодической передачи HELLO-сообщений.

В статье предлагается алгоритм на основе PULL-PUSH-подхода для доставки данных в сети БПЛА, состоящей из трех узлов под управлением протоколов AODV и OLSR. Эффективность разработанного алгоритма исследована с помощью имитационного моделирования в среде NS-3 [11].

Подходы к доставке данных в одноранговой сети

Существуют разные подходы к доставке потоковых данных в сетях MANET [12]. В статье рассматривается PULL-PUSH-подход, который также применяется в одноранговых сетях. Одноранговые сети (P2P) – это децентрализованные сети с равноправными узлами [13]. Они похожи на сети MANET, а следовательно, подходы к доставке потоковых данных в одноранговых сетях могут быть применены в сетях MANET для повышения качества обслуживания. Одноранговые сети полагаются на три подхода к доставке потоковых данных: PUSH-подход, PULL-подход и гибридный подход, совмещающий два предыдущих [14].

PUSH-подходом называют традиционную трансляцию потоковых данных с источника адресату. В таком случае только источник определяет алгоритм обмена данными с адресатом. Напротив, при использовании PULL-подхода адресат сам определяет алгоритм обмена данными. Например, адресат может запрашивать данные как с источника, так и с других узлов сети. Первый подход традиционно используется для потоковой передачи данных в инфраструктурных сетях, в том числе в Internet, а второй изначально рассчитан на доставку данных в условиях частого отключения узлов. В данной статье проанализирована эффективность передачи потоковых данных в сети БПЛА при совместном использовании PUSH и PULL-подходов.

Алгоритм доставки данных на основе PULL-PUSH-подхода

Исходя из простейшей топологии сети БПЛА, включающей узел-источник, узел-адресат и промежуточный узел, был разработан алгоритм доставки потоковых данных на основании PULL-PUSH-подхода. Блок-схема алгоритма, работающего на каждом узле сети, показана на рис. 1. В данном случае назовем блок передаваемой информации фрагментом данных, а контентом – совокупность взаимосвязанных и упорядоченных фрагментов данных. Для начала работы алгоритма адресат отправляет запрос на источник, в котором указывает номер контента и номера запрошенных фрагментов. В дальнейшем адресат использует алгоритм для гарантированной доставки всех запрошенных фрагментов, а источник и промежуточный узел используют тот же алгоритм для ответа на запросы адресата. В ходе работы алгоритма происходит распределение контента по сети. Каждый узел сети обладает

базой данных, в которой хранит номера запрошенных фрагментов, и буфером, в котором хранятся уже полученные фрагменты данных.

Алгоритм контролирует доставку запрошенных фрагментов, данных до адресата, в качестве которого может рассматриваться любой узел сети. Каждый узел имеет свою базу данных запрошенных фрагментов и заполняет ее по мере поступления запросов от узлов-соседей. Все узлы сети работают над единой задачей распространения контента по сети. Конечной целью каждого узла сети является получение всех запрошенных фрагментов данных.

Пусть t – заранее заданный интервал времени проверки базы данных. Каждый узел сети каждые t мс проверяет свою базу данных и генерирует на основе доступной информации запросы к узлам-соседам, содержащие номер контента и номера запрошенных фрагментов данных. При получении фрагмента данных узел удаляет его номер из базы и добавляет фрагмент в буфер. При получении запроса от узла-соседа узел ищет запрошенные фрагменты в буфере, добавляет найденные номера фрагментов в базу данных и начинает передачу доступных фрагментов узлу-

соседу. Когда все запрошенные фрагменты загружены, а база данных пуста, алгоритм заканчивает свою работу.

Сценарий мобильности

В среде NS-3 было проведено имитационное моделирование работы сети БПЛА, состоящей из трех узлов, для оценки эффективности предложенного алгоритма (см. рис. 2). Адресат, имитирующий наземный узел, является стационарным. Источник и промежуточный узел (узлы 2 и 3, соответственно) двигаются по окружностям с радиусом 50 метров с заданными в начале каждой симуляции скоростями в диапазоне от 30 до 40 м/с, имитируя поведение БПЛА при выполнении мониторинга местности. Дальность связи по стандарту 802.11n ограничена расстоянием 250 метров с помощью модели затухания сигнала в открытом пространстве. Источник передает адресату потоковые данные по протоколу UDP со скоростью 1 Мбит/с. В данной симуляции каждая дейтаграмма инкапсулирует только один фрагмент данных размером 1400 байт. В течение симуляции источник (узел 2) теряет связь до адресата (узел 1) случайное количество раз и вы-

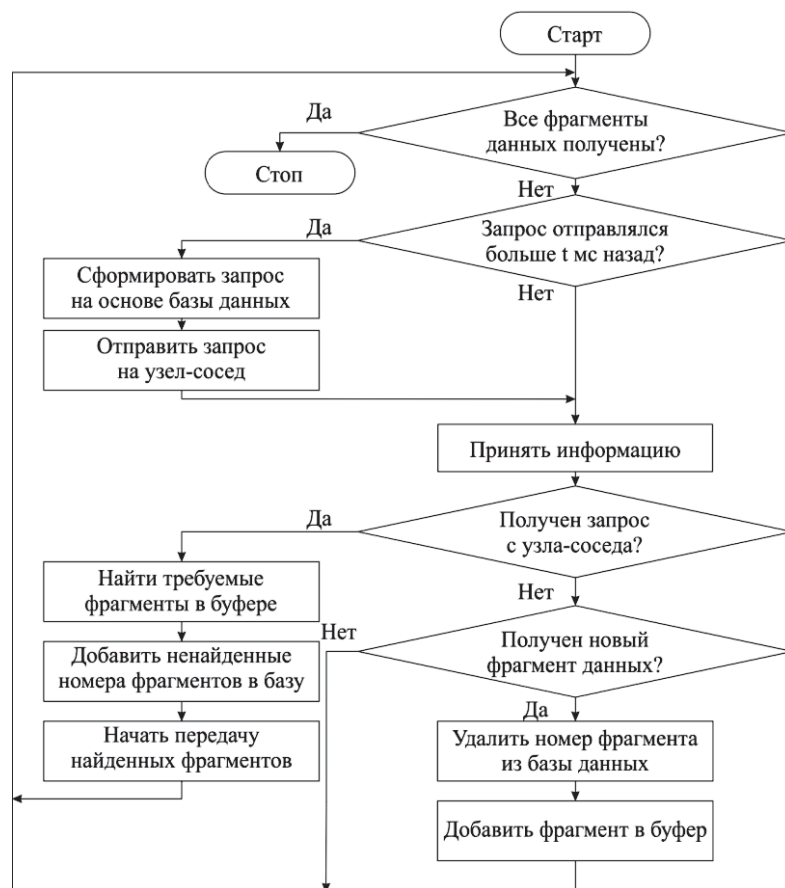


Рис. 1. Блок-схема алгоритма перезапроса фрагментов для доставки потоковых данных

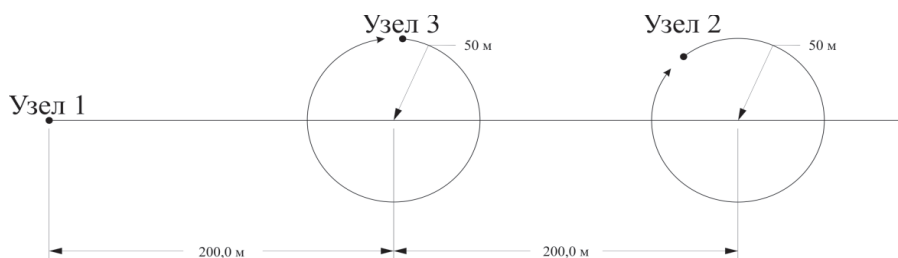


Рис. 2. Моделируемый сценарий мобильности

нужден восстанавливать двухшаговый маршрут с помощью используемого протокола маршрутизации и промежуточного узла (узел 3).

С помощью вычисления метрик качества обслуживания оценивается эффективность работы предложенного алгоритма в сети БПЛА под управлением AODV и OLSR.

Результаты моделирования

Было проведено 10 запусков моделируемого сценария. Каждая симуляция длилась 1 мин. В заголовке прикладного уровня каждой дейтаграммы, несущей полезную нагрузку, было добавлено поле с номером текущего фрагмента. На основании этого поля был проведен расчет первой метрики – коэффициента доставки фрагментов:

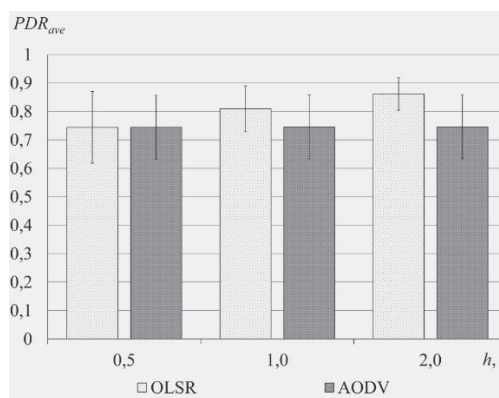
$$PDR = \frac{Rx}{Tx}, \quad (1)$$

где Rx – число принятых фрагментов; Tx – число переданных фрагментов. Метрика рассчитывалась для каждых 100 фрагментов, переданных источником.

Важной характеристикой потоковых данных является скорость доставки полезных данных адресату. Частным случаем является передача видео. Для непрерывного воспроизведения видео на адресате скорость доставки полезных данных должна быть примерно равна скорости передачи видео источником, которая рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot 8}{(1024)^2} \text{ Мбит/с}, \quad (2)$$

где T – интервал измерения в сек; n – число принятых неповторяющихся фрагментов данных за интервал измерения; S_i – размер каждого фрагмента в байтах. При расчете данной метрики исключаются повторно принятые фрагменты. Интервал измерения метрики был принят равным 5 сек.

Рис. 3. Среднее значение коэффициента доставки фрагментов PDR_{ave} и доверительные интервалы

Была промоделирована передача потоковых данных и вычислен средний коэффициент доставки фрагментов PDR_{ave} для сетей под управлением OLSR (см. рис. 3а) и AODV (см. рис. 3б). Измерения были проведены для значений периода рассылки HELLO-сообщений $h = 2$; $h = 1$ и $h = 0,5$ сек. На рис. 3 видно, что ни одно из рассмотренных значений h не позволило улучшить значение PDR_{ave} до 1 и обеспечить гарантированную доставку потоковых данных узлу-адресату. Реактивный протокол AODV не продемонстрировал зависимости от значения h . Уменьшение значения h для проактивного протокола OLSR с 2 до 0,5 сек также не привело к улучшению значения метрики PDR_{ave} . Таким образом, необходимо применение алгоритмов доставки потоковых данных для рассматриваемой топологии сети.

Симуляции были повторены с использованием разработанного алгоритма на основе PULL-PUSH-подхода со значением интервала проверки базы данных равным $t = 100$ мс, который использует перезапрос фрагментов с узлов-соседей. На рис. 4а показаны зависимости значения метрики PDR от времени в процессе симуляции для сети под управлением протокола OLSR с использованием и без использования разработанного алгоритма и значения $h = 0,5$. На рис. 4б представ-

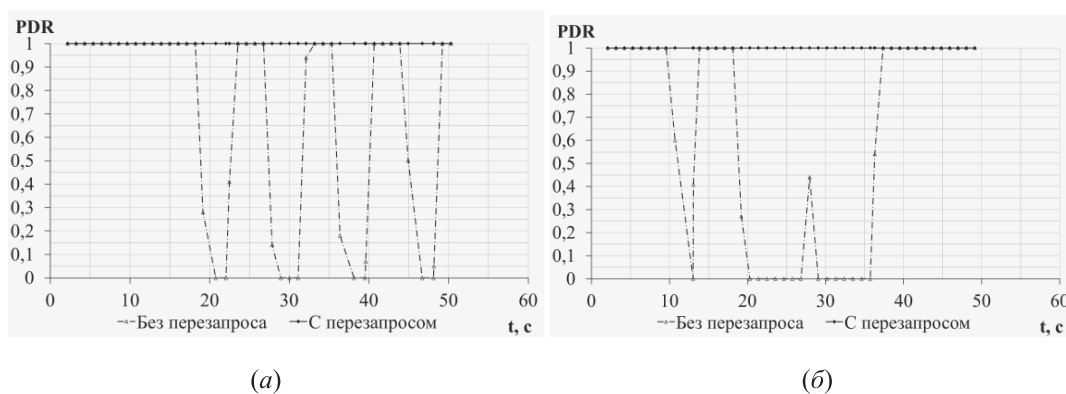


Рис. 4. Зависимость значения коэффициента доставки фрагментов PDR от времени при передаче потоковых данных в сети под управлением протокола OLSR (а) и AODV (б)

лены аналогичные зависимости для сети под управлением протокола AODV.

Рис. 4 показывает, что использование разработанного алгоритма позволило обеспечить значение PDR равное 1 на протяжении всей симуляции. На основании результатов было определено, что разработанный алгоритм обеспечил увеличение PDR_{ave} до 1, то есть на 14% при $h = 2$ и на 26% при $h = 0,5$ для OLSR. Для AODV метрика была улучшена на 26% при всех заданных h .

На рис. 5 показаны значения средней скорости доставки полезных данных R_{ave} в сети под управлением протокола OLSR (5а) и AODV (5б) без применения разработанного алгоритма и при перезапросе потерянных фрагментов с его помощью.

Разработанный алгоритм на основании PULL-PUSH-подхода позволил повысить среднюю скорость доставки полезных данных R_{ave} . Для сети под управлением протокола OLSR метрика R_{ave} была увеличена в среднем на 12%, а для AODV – на 14% для всех рассмотренных значений h .

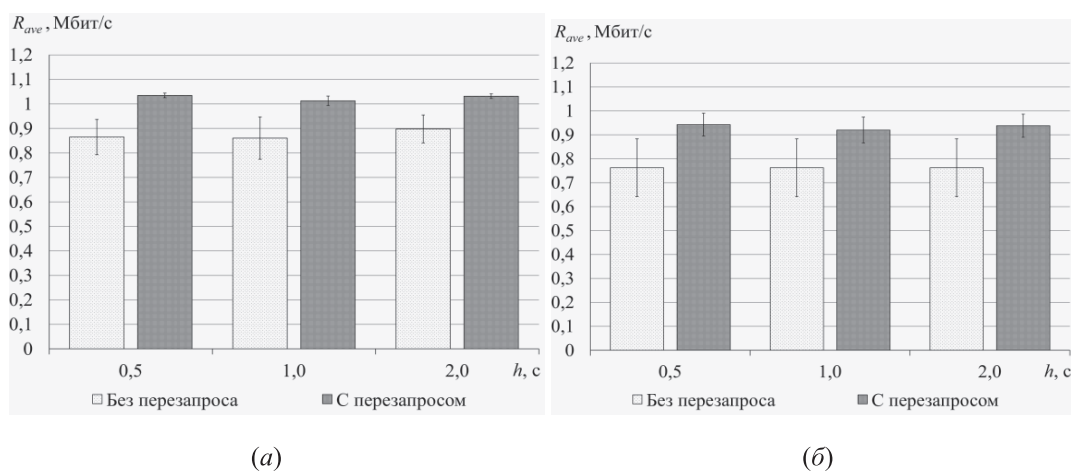


Рис. 5. Средняя скорость доставки полезных данных R_{ave} и доверительные интервалы при передаче потоковых данных в сети под управлением протокола OLSR (а) и AODV (б)

Алгоритм обеспечил среднюю скорость доставки примерно равную 1 Мбит/с для сети под управлением протокола OLSR. Для протокола AODV метрика R_{ave} при использовании разработанного алгоритма была в среднем на 7% меньше, чем скорость передачи данных источником.

Заключение

В статье предложен алгоритм перезапроса фрагментов для доставки потоковых данных на

основании PULL-PUSH-подхода и проанализирована его эффективность в сети БПЛА, состоящей из трех узлов под управлением протоколов маршрутизации OLSR и AODV, с помощью имитационного моделирования в среде NS-3.

Результаты моделирования выбранной топологии сети показывают, что для рассматриваемого сценария мобильности протоколы OLSR и AODV не обеспечивают доставку потоковых данных без потерь. В свою очередь, результаты

моделирования с использованием разработанного алгоритма демонстрируют, что его применение позволяет увеличить значение среднего коэффициента доставки фрагментов PDR_{ave} до 1 и повысить среднюю скорость доставки полезных данных адресату $Rave$ на 12% и 14% для OLSR и AODV, соответственно. Таким образом, была продемонстрирована эффективность разработанного алгоритма для доставки потоковых данных в сети БПЛА под управлением протоколов маршрутизации AODV и OLSR.

Литература

1. Кучерявый А.Е. Интернет вещей // *Электросвязь*. №1, 2013. – С.21-24.
2. Дмитриев В.Н., Сорокин А.А., Пищин О.Н. Построение систем связи с динамической непериодической топологией // *ИКТ*. Т.6, №1, 2008. – С. 34-39.
3. Bekmezci I., Sahingoz O. K., Temel S. Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey // *Ad Hoc Networks*, vol. 11, no. 3, 2013. – P. 1254-1270.
4. Легков К.Е., Федоров А.Е. Беспроводные Mesh-сети специального назначения // *ИКТ*. Т.7, №2, 2009. – С. 25-27.
5. Иовлев Д.И., Бойченко И.В., Абрамов В.В. Повышение устойчивости передачи данных в сетях MANET // *Доклады ТГУСУР*. №2 (26), Ч. 1, 2012. – С. 171-177.
6. Некрасов П.О., Хоров Е.М. Методы повышения качества передачи голосовых потоков по меш-сети путем изменения механизма обслуживания пакетов в очереди // *Труды НТК «Информационные технологии и системы (ИТиС'11)»*. Геленджик, 2011. – С.394-399.
7. Метелев А.П., Чистяков А.В., Жолобов А.Н. Протоколы маршрутизации в беспроводных самоорганизующихся сетях // *Вестник НГУ им. Н.И. Лобачевского*. №3 (1), 2013. – С.75–78.
8. Meitis D., Vasiliev D., Abilov A. Simulation of MANET routing protocols for UAVs // *Proceedings of Fourth forum of young researchers*. Izhevsk, April, 2014 – P. 358-364.
9. Perkins C. RFC 3561, Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, 2003.
10. Clausen T. RFC 3626, Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), 2003.
11. Жолобов А.Н., Прозоров Д.Е., Романов С.В. Симуляторы беспроводных MANET-сетей // *ИКТ*. Т.10, №3, 2012. – С. 28-33.
12. Vasiliev D. A survey on routing protocols and error correction methods for data delivery in MANETs // *Proceedings of Fourth forum of young researchers*. Izhevsk, April, 2014 – P. 375-384.
13. Васильев Д.С., Чунаев А.В., Абилов А.В. Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня // *T-Comm*. Т. 8, №1, 2014. – С.10-15.
14. Fodor V., Dan G. Resilience in Live Peer-to-Peer Streaming // *Communication Magazine IEEE*. Vol. 45, Issue 6, June 2007 – P. 116-123.

IMPROVING QUALITY OF VIDEO STREAMING IN FANETS USING PULL-PUSH APPROACH

Vasiliev D.S., Abilov A.V.

In this paper, we analyze quality of video streaming in Flying Ad Hoc Networks (FANETs) with help of an NS-3 simulation tool. Considered network topology consists of source, destination and relay nodes and uses AODV and OLSR routing protocols. We estimate quality of video streaming based on average chunk delivery ratio $PDRave$ and average application layer data delivery speed $Rave$. We developed data delivery algorithm using PULL-PUSH approach to improve quality of video streaming. This paper presents performance investigation of developed algorithm in considered network topology with AODV and OLSR routing protocols.

Keywords: mobile ad hoc networks, unmanned aerial vehicles, peer-to-peer networks, quality of service, computer simulation.

Абилов Альберт Винерович, к.т.н., доцент Ижевского государственного технического университета (ИжГТУ) им. М.Т. Калашникова. Тел. 8-912-856-22-02. Email: albert.abilov@istu.ru

Васильев Данил Сергеевич, аспирант ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. Тел.: 8-909-060-06-42. E-mail: danil.s.vasilyev@istu.ru