



ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

INFOCOMMUNICATION TECHNOLOGIES

УДК 621.396.9

DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-842-852

Анализ качества передачи голосового трафика в подвижных беспроводных самоорганизующихся сетях со смешанными каналами связи: имитационная модель

Охрименко А.Г., Лазарев С.А., Польщиков К.А.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: okhrimenko@bsu.edu.ru, lazarev_s@bsu.edu.ru, polshchikov@bsu.edu.ru

Аннотация

Статья посвящена разработке имитационной модели для анализа качества передачи голосового трафика в подвижной беспроводной самоорганизующейся сети со смешанными каналами связи — оптическими и радиоканалами. Целью статьи является расширение практики исследования телекоммуникационных сетей с использованием дискретного сетевого имитатора NS-3 на самоорганизующиеся VoIP-сети со смешанными каналами связи. Предложена модель подвижной беспроводной самоорганизующейся сети со смешанными каналами связи с разбиением на локальные группы узлов, связанные оптическими каналами. Разработана многопараметрическая имитационная модель для исследования процесса передачи голосового трафика. Проведено пробное имитационное моделирование процесса передачи голосового трафика от источника до приемника, размещенных в различных локальных группах при независимом движении узлов различных локальных групп и при использовании типовых протоколов динамической маршрутизации. Теоретическая значимость состоит в разработке имитационной модели для исследования процесса передачи голосового трафика в подвижной беспроводной самоорганизующейся сети со смешанными каналами связи.

Ключевые слова: беспроводная самоорганизующаяся сеть, имитационная модель, NS-3, оптический канал связи, голосовой трафик.

Для цитирования: Охрименко А.Г., Лазарев С.А., Польщиков К.А. 2020. Анализ качества передачи голосового трафика в подвижных беспроводных самоорганизующихся сетях со смешанными каналами связи: имитационная модель. Экономика. Информатика. 47 (4): 842–852. DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-842-852.

Voice traffic quality analysis in MANET with mixed communication channels: simulation model

Okhrimenko A., Lazarev S., Polshchikov K.

Belgorod State National Research University

85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: okhrimenko@bsu.edu.ru, lazarev_s@bsu.edu.ru, polshchikov@bsu.edu.ru

Abstract

The article is devoted to the development of a simulation model for analyzing the quality of voice traffic transmission in a MANET with mixed communication channels — optical and radio channels. The purpose of the article is to extend the practice of researching telecommunications networks using the NS-3 discrete network simulator to VoIP MANET with mixed communication channels. A model of a MANET with mixed communication channels divided into local groups of nodes connected by optical channels is proposed. A

multiparametric simulation model has been developed to research the process of VoIP. A trial simulation of the process of transmitting voice traffic from a source to a receiver located in different local groups with independent movement of nodes of different local groups and using standard dynamic routing protocols was performed. The theoretical significance consists in the development of a simulation model for researching the process of VoIP in a MANET with mixed communication channels.

Keywords MANET, simulation model, NS-3, optic communication channel, VoIP.

For citation: Okhrimenko A., Lazarev S., Polshchykov K. 2020. Voice traffic quality analysis in MANET with mixed communication channels: simulation model. Economics. Information technologies. 47 (4): 842–852 (in Russian). DOI 10.18413/2687-0932-2020-47-4-842-852.

Введение

Современное развитие методов и техники обмена информацией предоставляет для разработчиков беспроводных самоорганизующихся сетей (БСС) широкие возможности по выбору технических средств и протоколов, а для организации обмена информацией использовать не только радио-, но и оптические каналы связи (КС) от инфракрасного до ультрафиолетового диапазонов волн [Щетинин и др., 2007; Sevincer et al., 2011; Uysal et al., 2016; Konstantinov et al., 2019]. Преимущества БСС по быстрому развёртыванию сетей связи и передачи информации; голос, как наиболее предпочтительная форма общения между абонентами; использование традиционных КС и разработка КС на новых физических принципах требуют исследований как самой возможности, так и оценки показателей качества передачи голосового трафика в БСС со смешанными КС. Предпочтительным методом исследования БСС, как сложной системы [Polshchykov et al., 2017; Konstantinov et al., 2016], является имитационное моделирование [Константинов и др., 2015]. Поэтому разработка имитационной модели БСС со смешанными КС для передачи голосового трафика является актуальной задачей.

Структура исследуемой беспроводной самоорганизующейся сети

В некоторых случаях БСС большой размерности целесообразно представить совокупностью локальных групп узлов (ЛГУ), соединенных КС пограничных узлов (ПУ). Под ЛГУ БСС понимается совокупность узлов, расположенных в пределах ограниченной на местности области, и выполняющих совместные задачи. Предполагается, что обмен голосовой информацией между узлами одной ЛГУ производится по радиоканалам и составляет существенную величину по сравнению с объемом голосового трафика, предназначенного для узлов других ЛГУ. Под ПУ будем понимать узел ЛГУ, который дополнительно к задачам узлов ЛГУ обеспечивает обмен голосовым трафиком с соседними ЛГУ посредством оптических КС. В ЛГУ может быть несколько ПУ. БСС предполагает обмен голосовым трафиком между всеми узлами, которые могут входить в различные ЛГУ.

Структура исследуемой БСС приведена на рис. 1, где N – количество ЛГУ. Обмен голосовым трафиком между узлами ($У$) внутри ЛГУ производится по радиоканалам. ПУ ЛГУ могут работать как в режиме «точка-точка», например, с образованием одного оптического канала $ОК_{2N}$ между ПУ ЛГУ₂ и ЛГУ_N, так и в режиме «точка-многоточка» – с образованием нескольких оптических КС из одного ПУ, например, каналов $ОК_{12}$ и $ОК_{1N}$ между пограничными узлами ЛГУ₁, ЛГУ₂ и ЛГУ₁, ЛГУ_N соответственно. Число узлов ЛГУ, за исключением ПУ, составляет k_j , где $j=1, \dots, N$.

Таким образом, описанная структура БСС со смешанными КС является основой для разработки имитационной модели. Исходная БСС разбита на относительно независимые ЛГУ, взаимодействие между которыми осуществляется посредством ПУ с оптическими КС. Обмен информацией внутри каждой ЛГУ производится по радиоканалам.

К имитационной модели БСС предъявим следующие требования:

1) поддержка современных методов обработки и передачи информации канального, сетевого и транспортного уровней модели взаимодействия открытых систем;

- 2) поддержка эксплуатационных характеристик оптических КС с заданными битовыми ошибками и скоростями передачи данных;
- 3) создание, доставка и потребление голосового трафика в реальном масштабе времени;
- 4) изменение параметров БСС;
- б) доступность изучения модели в научных и образовательных целях.

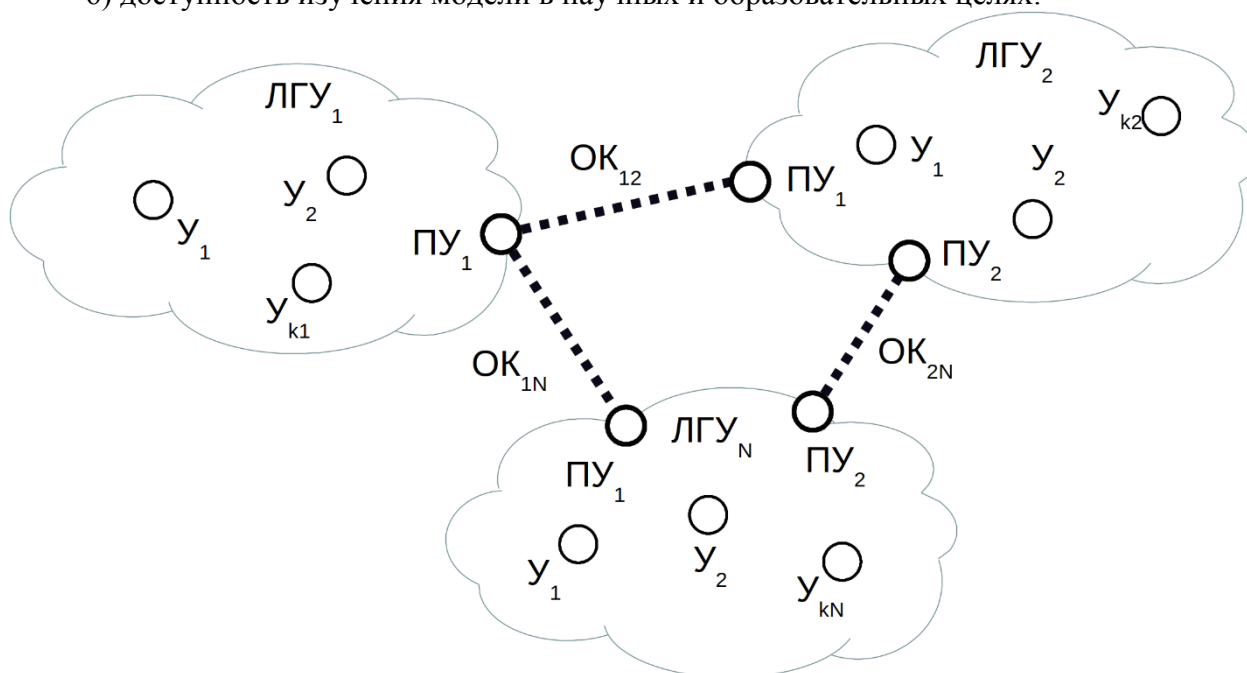


Рис. 1. Структура исследуемой БСС со смешанными каналами
Fig. 1. Structure of researching MANET with mixed channels

Методы и средства решения задачи

Для разработки имитационной модели БСС представим элементы БСС соответствующими моделями, на которые воздействуют внешние условия. В качестве средства построения имитационной модели БСС с оптическими КС целесообразно использовать доступные наработки открытого программного обеспечения – пакет дискретного имитационного моделирования NS-3 [NS-3, 2020]. Согласно [Kurkowski et al., 2005] доля использования предшественника, дискретного имитатора NS-2 для сетей MANET составила 43,8 %. NS-3, являясь усовершенствованием NS-2, предлагает передовые подходы к созданию имитационных моделей и запуск их с использованием реальных стеков протоколов, узлов и каналов связи реальных сетей. NS-3 широко используется для исследования различных Ad Hoc сетей (MANET, VANET, сетей БПЛА UAV Networks и сетей движущихся подводных объектов) [Miletić et al., 2012; Датьев и др., 2015; Regis et al., 2016; Aldalbahi et al., 2017; Bakhtin et al., 2017]. С помощью NS-3 проводятся исследования моделей спутниковых КС, инфракрасных каналов волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), оптических каналов прямой видимости (FOS), смешанных (оптические и радио-) каналов связи [Di Perna, 2016], что позволяет расширить перечень моделей сред распространения сигналов и рассматривать не только проводные, радио- и ВОЛС, а также FOS для передачи сигналов в оптическом спектре. К достоинствам использования NS-3 следует отнести наличие консорциума NS-3 [NS-3 Consortium, 2020] из состава передовых ВУЗов и производителей телекоммуникационных сетей (ТКС). В задачи консорциума NS-3 входит обмен опытом между научными и производственными коллективами, проведение ежегодных семинаров WNS3 (начиная с 2013 г.) с выпуском научного сборника в электронной библиотеке ACM [ACM, 2020.]. Часто к недостаткам NS-3 относят сложность установки и настройки, а также необходимость использования командной строки. Для научного коллектива, связанного с

проблематикой MANET сетей, указанные недостатки скорее являются преимуществом, так как предоставляют возможности по полному контролю над средой моделирования.

Исходя из приведенных доводов, характеристик и опыта использования NS-3 можно сделать вывод о пригодности NS-3 в качестве инструмента моделирования и анализа БСС со смешанными КС в следующих отношениях:

- 1) стандартная поставка NS-3 содержит модели компонентов узлов сети, которые разработаны и апробированы передовыми ВУЗами мира в научных и образовательных целях;
- 2) разработан на языке C++ и представляет собой открытый программный код, что позволяет изучать представленные в NS-3 модели, разрабатывать собственные модели узлов (в том числе новый вид – пограничный узел ЛГУ), каналы связи (в том числе новые КС, основанные на новых физических принципах), устройства сети (в том числе устройства образования оптического КС), модели передвижения и голосового трафика (в том числе моделировать работу типовых звуковых кодеков), модели окружающей среды (в том числе модель распространения оптического сигнала);
- 3) поддерживает язык Python — язык программирования, широко применяемый для научных исследований, что позволяет обеспечивать интеграцию NS-3 с многочисленными пакетами и системами научных исследований, написанных на языке Питон;
- 4) масштабируется по количеству и составу узлов сети MANET;
- 5) имеет возможности по сопряжению с реальными внешними узлами ТКС и КС, а также по использованию реальных стеков протоколов в моделируемых узлах;
- 6) имеет способы для использования средств визуализации и анализа;
- 7) предоставляет средства отладки для любого уровня модели;
- 8) имеет качественную документацию по эксплуатации и разработке;
- 9) не зависит от конкретного типа операционной системы.

Для разработки модели БСС использовался пакет дискретного имитатора NS-3 версии 3.30 под управлением операционной системы Линукс Ubuntu версии 18.04. В качестве методологического обеспечения использовалась сопровождающая дискретный имитатор NS-3 документация [NS-3 Tutorial, 2020; NS-3 Manual, 2020; NS-3 Model library, 2020; NS-3 Documentation, 2020; NS-3 Allinone, 2020]. Разработка проводилась в интегрированной среде Eclipse IDE for C/C++ Developers [Eclipse, 2020].

Описание структуры имитационной модели

Имитационная модель БСС разработана по типовой схеме сценария, предлагаемого в руководстве пользователя NS-3. Структурные блоки и связи между ними имитационной модели представлены на рис. 2.

Блок «Обработка входных параметров» предназначен для разбора входных параметров и формирования корректных значений.

Блок «Создание топологии БСС» – основной блок модели, формирует структуру БСС, КС как внутри ЛГУ, так и оптические КС между ЛГУ, производит настройку узлов БСС.

Блок «Модель движения узлов» производит начальную установку местоположения узлов и формирует независимые модели движения узлов, принадлежащих различным ЛГУ.

Блок «Создание голосового трафика» формирует приложения генерирования и потребления голосового трафика на узлах, определенных во входных параметрах. Голосовой трафик моделируется пакетами UDP заданной длительности и интервала следования.

Внешние воздействия на БСС формируются в виде задержки и интенсивности битовых ошибок в оптических КС.

Блок «Выгрузка выходных данных» записывает файлы формата XML, содержащие развернутый во времени процесс функционирования БСС, для последующего анализа программой NetAnim [NetAnim, 2020].

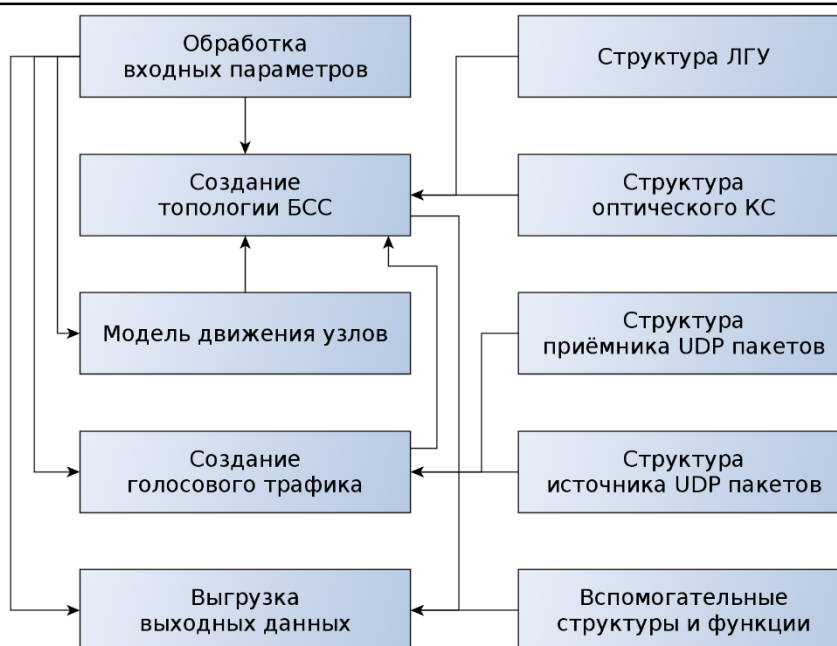


Рис. 2. Структура имитационной модели БСС
 Fig. 2. Structure of the MANET simulation model

Особенностями реализации модели БСС являются:

- 1) ЛГУ, на которые может быть разбита исходная сеть;
 - 2) оптические КС, представленные абстракциями эксплуатационных характеристик линий связи: скоростью передачи данных, задержкой в канале, интенсивностью битовых ошибок;
 - 3) независимые модели движения для различных ЛГУ.
- Входные данные модели БСС представлены в табл. 1.

Таблица 1
 Table 1

Параметры модели БСС
 MANET model parameters

Параметр	Наименование, допустимые значения
v	Вывод отладочных сведений.
routeProtocol	Протокол маршрутизации. olsr aodv dsdv dsr [olsr]
nodesCount	Количество узлов каждой группы, 2..6 [5]
clientNode	№ узла-источника (клиент), 1..nodesCount [2]
serverNode	№ узла-приемника (сервер), 1..nodesCount [2]
mtu	Максимальная единица передачи, байт [1400]
packetSize	Размер UDP пакета, байт [256]
packetInterval	Интервал между UDP пакетами, мкс [2500]
dataRate	Скорость передачи данных оптического канала связи, Мбит/с [10]
ber	Интенсивность битовых ошибок оптического канала связи [1e-05]
simulationTime	Продолжительность моделирования, с [120]
speedMax	Максимальная скорость узлов, м/с [20]
filePrefix	Префикс выходных файлов [udp-check]
delayBinWidth	Шаг гистограммы задержки UDP пакета, мс [1]
jitterBinWidth	Шаг гистограммы фазового дрожания UDP пакета, мс [0.2]

Примечание. В квадратных скобках приведены значения имитационной модели по умолчанию.

Таким образом, с помощью дискретного имитатора NS-3 разработана многопараметрическая имитационная модель БСС со смешанными КС, которая поддерживает современные методы обработки и передачи информации канального, сетевого и транспортного уровней модели OSI; учитывает эксплуатационные характеристики оптических КС; передает голосовой трафик в реальном масштабе времени и доступна для изучения в научных и образовательных целях.

Пример применения модели

Проверка разработанной имитационной модели БСС со смешанными КС проводилась на основе следующих исходных данных:

- 1) общее количество узлов сети – 10;
- 2) количество ЛГУ – 2;
- 3) количество передаваемых UDP пакетов – 1000;
- 4) протокол динамической маршрутизации – OLSR;
- 5) количество оптических КС – 1;
- 6) пограничные узлы – неподвижны.

Остальные параметры модели были выбраны по умолчанию согласно табл. 1. Выбор значения интенсивности битовых ошибок производился на основе результатов, приведенных в [Konstantinov, 2019]. ЛГУ₁ и ЛГУ₂ содержали по 4 узла в каждой (рис. 3). Каждая ЛГУ была расположена в пределах квадрата со стороной 1 км. ПУ₅ и ПУ₆ были связаны оптическим КС ОК₁₂ протяженностью $d=1$ км.

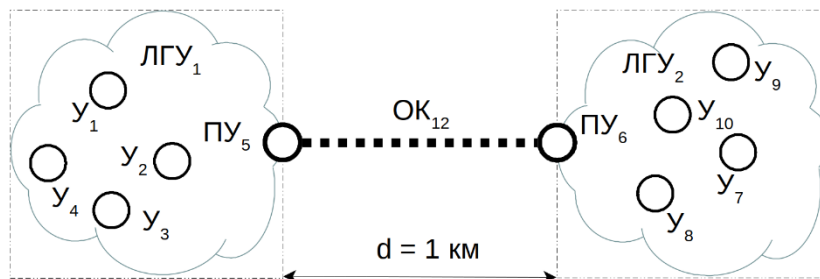


Рис. 3. Структура БСС с одним оптическим каналом
Fig. 3. Structure of MANET with one optical channel

На рис. 4 представлен фрагмент начальной работы БСС. После запуска моделирования начинается процесс обнаружения маршрутов. На рис. 3 показано как узел U_2 ЛГУ₁ рассылает пакеты OLSR для обнаружения маршрутов. Маршрутные таблицы на узлах БСС обновляются после изменения местоположения узлов. Типовая схема обнаружения маршрутов для узла из ЛГУ₁ приведена в табл. 2.

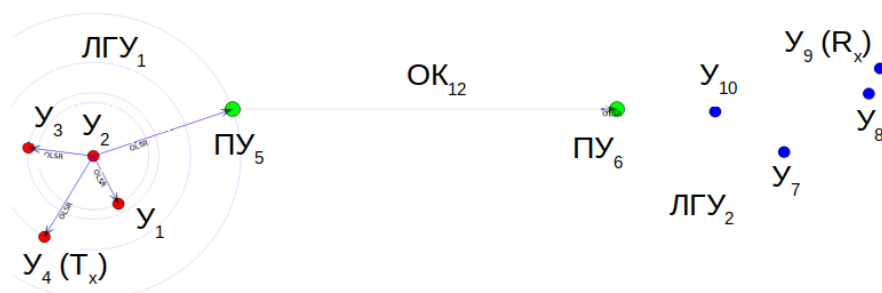


Рис. 4. Обнаружение маршрутов в БСС (отображение в программе NetAnim)
Fig. 4. Route detection in the MANET (display in the NetAnim program)

После обнаружения маршрутов БСС оценивались характеристики БСС по передаче голосового трафика. Для этой цели проводилось генерирование на узле n_4 (T_x) голосового трафика в виде пакетов UDP, передача голосового трафика из ЛГУ₁ в ЛГУ₂ через оптический КС ОК₁₂ и потребление голосового трафика на узле n_9 (R_x), при этом узлы ЛГУ₁ и ЛГУ₂ перемещались по случайным траекториям с заданной максимальной скоростью внутри своих локальных областей.

Таблица 2
Table 2

Схема обнаружения маршрута для узла n_1 из ЛГУ₁
 Route detection scheme for node n_1 from local group of nodes

Время обнаружения маршрута, сек	ЛГУ ₁	ПУ ₅	ПУ ₆	ЛГУ ₂
3	+	-	-	-
5	+	+	-	-
6	+	+	+	-
11	+	+	+	+

Фрагмент процесса доставки UDP пакетов от источника – узла n_4 (T_x) к приемнику – узлу n_9 (R_x) приведен на рис. 5. Видно, что непосредственный канал доставки от ПУ₆ до приемника – узла n_9 (R_x) отсутствует, поэтому пакеты UDP маршрутизировались и ретранслировались на промежуточных узлах ЛГУ₂.

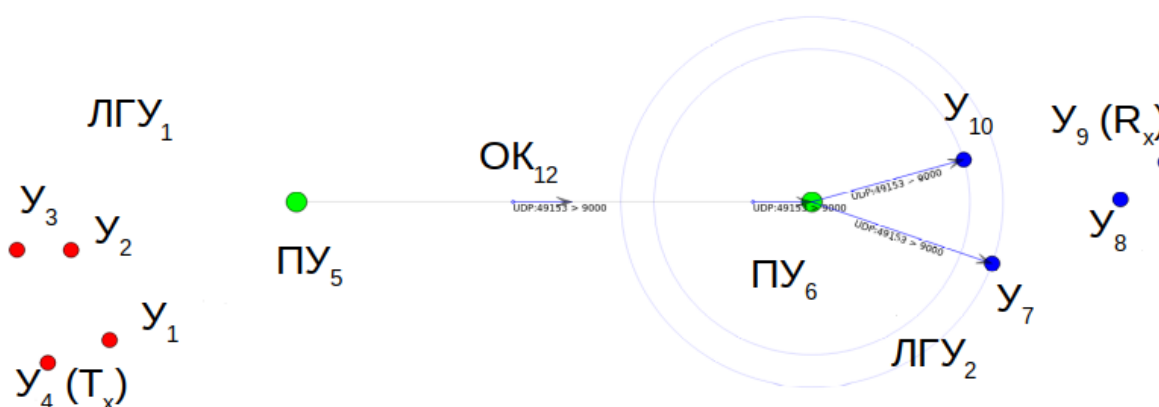


Рис. 5. Фрагмент процесса доставки UDP-пакетов (отображение в программе NetAnim)
 Figure 5. Fragment of the UDP packet delivery process (displayed in the NetAnim program)

Результаты моделирования процесса передачи голосового трафика, полученные путем анализа потоков пакетов с помощью программы NetAnim, приведены на рис. 6 и 7, где представлены гистограммы времени задержки и фазового дрожания (англ. jitter) UDP-пакетов соответственно.

Анализ представленных на рис. 6 и 7 данных показывает, что при определенных настройках модели БСС возможно добиться передачи UDP-пакетов с характеристиками, приемлемыми для обмена голосовым трафиком:

- 1) время задержки голосовых пакетов составляло менее 20 мс;
- 2) фазовое дрожание UDP-пакетов – менее 7 мс;
- 3) потеря UDP-пакетов – менее 2,5 %.

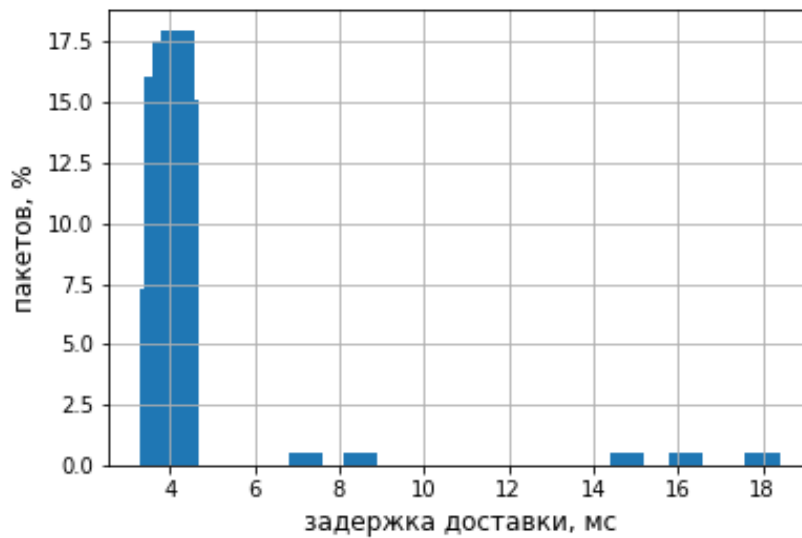


Рис. 6. Гистограмма времени задержки UDP-пакетов
Fig. 6. The histogram of the time delay of UDP packets

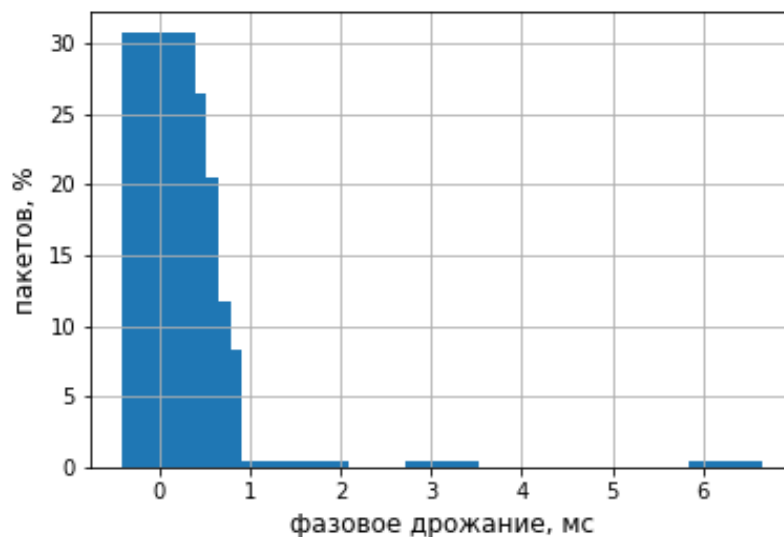


Рис. 7. Гистограмма фазового дрожания UDP-пакетов
Fig. 7. The histogram of the jitter of UDP packets

Заключение

Таким образом, разработана многопараметрическая имитационная модель БСС со смешанными каналами связи для передачи голосового трафика, которая может служить основой для исследований качества передачи голосового трафика в БСС в учебных и научных целях. Учитывая возможности получения при моделировании неожиданных результатов, планируется продолжить работы по совершенствованию имитационной модели БСС в направлении определения допустимых границ и оптимальных значений параметров модели.

Список литературы

1. Датьев И.О., Павлов А.А., Шишаев М.Г. 2015. Моделирование беспроводных многошаговых самоорганизующихся мобильных сетей. Труды Кольского научного центра РАН, 3(29): 137–150.



2. Константинов И. С., Польщиков К. А., Лазарев С. А. 2015. Имитационная модель передачи информационных потоков в мобильной радиосети специального назначения. *Научные ведомости БелГУ*, 35(1): 156–163.
3. Щетинин Ю.И., Поллер Б.В., Бритвин А.В. 2007. Использование ультрафиолетовых каналов с рассеянием в беспроводных информационных системах и микросистемах. Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника. Сб. материалов Международного научного конгресса «Гео-Сибирь». Новосибирск, 4: 176–180.
4. ACM. 2020. Available at: <https://dl.acm.org/action/doSearch?AllField=WNS3>. (date of the application: 12.11.2020).
5. Aldalbahi A, Rahaim M, Khreishah A. et al. 2017. Visible Light Communication Module An Open Source Extension to the ns3 Network Simulator With Real System Valida. *IEEE Access*, 5: 22144–22158.
6. Bakhtin A., Volkov A., Muratchaev S. et al. 2017. Development of MANET Network Model for Space Environment in NS3. *Proc. of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 EIConRus)*. St. Petersburg, 31–34.
7. Di Perna M. 2016. Optical Satellite Systems for ns-3. Available at: <https://www.nsnam.org/wiki/SOCIS2016> (date of the application: 12.11.2020).
8. Eclipse IDE for C/C++ Developers. 2020. Available at: <https://www.eclipse.org/downloads/packages/release/2020-03/r/eclipse-ide-cc-developers-includes-incubating-components> (date of the application: 12.11.2020).
9. Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2016. The Usage of the Mobile Ad-Hoc Networks in the Construction Industry. *Proc. of the 10th Int. Conf. on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*. Baku, 455–457.
10. Konstantinov I.S., Vasyliiev G.S., Kuzichkin O.R. et al. 2019. AUV link mobile ad-hoc network examination. *Int. Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5S): 512–517.
11. Konstantinov I.S., Vasyliiev G.S., Kyzichkin O.R. et al. 2019. Modeling and analyzing of UV channels characteristics in various configuration of transmitters and receivers for building manet. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(6S3): 576–581.
12. Kurkowski S., Camp T., Colagrosso M. 2005. MANET simulation studies: the incredible. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 9(4): 50–61.
13. Miletić V., Mikac B., Džanko M. 2012. Modelling Optical Network Components: A Network Simulator-Based Approach. *Proc. of the IX International Symposium on Telecommunications (BIHTEL)*, 1–6.
14. NetAnim. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/wiki/NetAnim> (date of the application: 12.11.2020).
15. NS-3. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/> (date of the application: 12.11.2020).
16. NS-3 Allinone. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/releases/ns-allinone-3.30.1.tar.bz2> (date of the application: 12.11.2020).
17. NS-3 Consortium. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/consortium/> (date of the application: 12.11.2020).
18. NS-3 Documentation. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/doxygen/index.html> (date of the application: 12.11.2020).
19. NS-3 Manual. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/manual/ns-3-manual.pdf> (date of the application: 12.11.2020).
20. NS-3 Model library. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/models/ns-3-model-library.pdf> (date of the application: 12.11.2020).
21. NS-3 Tutorial. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/tutorial/ns-3-tutorial.pdf> (date of the application: 12.11.2020).
22. Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Zdorovtsov A.D. 2017. Neuro-Fuzzy Control of Data Sending in a Mobile Ad Hoc Network. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2S): 1494–1501.
23. Regis P., Bhunia S, Sengupta S. 2016. Implementation of 3D Obstacle Compliant Mobility Models for UAV Networks in ns-3. *Proc. of the Workshop on ns-3*, 148.
24. Sevincer A, Karaoglu H, and Yuksel M. 2011. Performance Analysis of Voice Transfer Using Multi-Transceiver Optical Communication Structures. *International Conference on Space Optical Systems and Applications*, 73–77.
25. Uysal M., Capsoni C., Ghassemlooy Z. et al. 2016. Optical Wireless Communications: An Emerging Technology. *Seria «Signals and Communication Technology»*. Springer International Publishing, 635.

References

1. ACM. 2020. Available at: <https://dl.acm.org/action/doSearch?AllField=WNS3>. (date of the application: 12.11.2020).
2. Aldalbahi A, Rahaim M, Khreishah A. et al. 2017. Visible Light Communication Module An Open Source Extension to the ns3 Network Simulator With Real System Valida. *IEEE Access*, 5: 22144–22158.
3. Bakhtin A., Volkov A., Muratchaev S. et al. 2017. Development of MANET Network Model for Space Environment in NS3. *Proc. of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 EIConRus)*. St. Petersburg, 31–34.
4. Dat'ev I.O., Pavlov A.A., Shishaev M.G. 2015. Modelirovanie besprovodnyh mnogoshagovyh samoorganizujushhihsja mobil'nyh setej. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN*, 3(29): 137–150 (in Russian).
5. Di Perna M. 2016. Optical Satellite Systems for ns-3. Available at: <https://www.nsnam.org/wiki/SOCIS2016> (date of the application: 12.11.2020).
6. Eclipse IDE for C/C++ Developers. 2020. Available at: <https://www.eclipse.org/downloads/packages/release/2020-03/r/eclipse-ide-cc-developers-includes-incubating-components> (date of the application: 12.11.2020).
7. Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Polshchikov K.A. 2015. Simulation model of information flows transmission in mobile ad-hoc network for special purpose. *Belgorod State University Scientific Bulletin*. 35(1): 156–163 (in Russian).
8. Konstantinov I., Polshchikov K., Lazarev S., Polshchikova O. 2016. The Usage of the Mobile Ad-Hoc Networks in the Construction Industry. *Proc. of the 10th Int. Conf. on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*. Baku, 455–457.
9. Konstantinov I.S., Vasyliov G.S., Kuzichkin O.R. et al. 2019. AUV link mobile ad-hoc network examination. *Int. Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(5S): 512–517.
10. Konstantinov I.S., Vasyliov G.S., Kyzichkin O.R. et al. 2019. Modeling and analyzing of UV channels characteristics in various configuration of transmitters and receivers for building manet. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(6S3): 576–581.
11. Kurkowski S., Camp T., Colagrosso M. 2005. MANET simulation studies: the incredible. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 9(4): 50–61.
12. Miletić V., Mikac B., Džanko M. 2012. Modelling Optical Network Components: A Network Simulator-Based Approach. *Proc. of the IX International Symposium on Telecommunications (BIHTEL)*, 1–6.
13. NetAnim. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/wiki/NetAnim> (date of the application: 12.11.2020).
14. NS-3. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/> (date of the application: 12.11.2020).
15. NS-3 Allinone. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/releases/ns-allinone-3.30.1.tar.bz2> (date of the application: 12.11.2020).
16. NS-3 Consortium. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/consortium/> (date of the application: 12.11.2020).
17. NS-3 Documentation. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/doxygen/index.html> (date of the application: 12.11.2020).
18. NS-3 Manual. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/manual/ns-3-manual.pdf> (date of the application: 12.11.2020).
19. NS-3 Model library. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/models/ns-3-model-library.pdf> (date of the application: 12.11.2020).
20. NS-3 Tutorial. 2020. Available at: <https://www.nsnam.org/docs/release/3.30/tutorial/ns-3-tutorial.pdf> (date of the application: 12.11.2020).
21. Polshchikov K.O., Lazarev S.A., Zdorovtsov A.D. 2017. Neuro-Fuzzy Control of Data Sending in a Mobile Ad Hoc Network. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(2S): 1494–1501.
22. Regis P., Bhunia S, Sengupta S. 2016. Implementation of 3D Obstacle Compliant Mobility Models for UAV Networks in ns-3. *Proc. of the Workshop on ns-3*, 148.
23. Sevincer A, Karaoglu H, and Yuksel M. 2011. Performance Analysis of Voice Transfer Using Multi-Transceiver Optical Communication Structures. *International Conference on Space Optical Systems and Applications*, 73–77.
24. Shchetinin Yu.I., Poller B.V., Britvin A.V. 2007. Use of ultraviolet channels with scattering in wireless information systems and Microsystems. *Specialized instrument engineering, Metrology, Thermophysics, microtechnics: Proc. of the Int. Scientific Congress «Geo-Siberia»*. Novosibirsk, 4: 176–180 (in Russian).



25. Uysal M., Capsoni C., Ghassemlooy Z. et al. 2016. Optical Wireless Communications: An Emerging Technology. Seria «Signals and Communication Technology». Springer International Publishing, 635.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Охрименко Александр Григорьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник учебно-научной лаборатории информационно-измерительных и управляющих комплексов и систем Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Лазарев Сергей Александрович, кандидат экономических наук, заместитель директора по научной и международной деятельности Института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

Польщикова Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, директор Института инженерных и цифровых технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета, Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alexander G. Okhrimenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Educational and Scientific Laboratory of Information-Measuring and Control Complexes and Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Sergey A. Lazarev, Candidate of in Economic Sciences, Deputy Director for Scientific and International activities of the Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Konstantin A. Polschikov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia