

УДК 621.391

DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-108-115

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕТРАНСЛЯЦИИ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ В ЛЕТАЮЩЕЙ СЕТИ\*

И. А. Кайсина, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Д. С. Васильев, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. В. Абилов, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Д. С. Мейтис, АО «НПО «Телеком», Ижевск, Россия

А. Е. Кайсин, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. И. Нистюк, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Проанализированы метрики качества обслуживания (Quality of Service-QoS) при ретрансляции потоковых данных в летающей сети на основе протоколов маршрутизации OLSR и AODV. Эффективность передачи потоковых данных в летающей сенсорной сети беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) проанализирована аналитически, а также с использованием Network Simulator-3 (NS-3) в качестве среды для проведения имитационного моделирования.*

*Все вычисления произведены для трех сценариев. В первом сценарии узел-источник удаляется от узла-получателя на определенное расстояние. Во втором сценарии между узлом-источником и узлом-получателем добавлен летающий узел-ретранслятор, на котором работает один из протоколов маршрутизации, узел-источник также удаляется от узла-получателя. В третьем сценарии узел-ретранслятор летает по кругу с разным радиусом, при этом узел-источник удаляется от узла-получателя. Во всех сценариях приведены сравнительные результаты имитационного моделирования и математических вычислений. В качестве модели распространения сигнала для имитационного моделирования была выбрана Free-Space Mode. По первому сценарию построен аналитический график зависимости средней частоты ошибок при передаче от энергии на бит. Для всех других сценариев построены графики зависимости среднего коэффициента доставки пакетов от расстояния. По результатам исследований сделан вывод, что применение исследуемых протоколов маршрутизации не обеспечивает приемлемое качество передачи данных в сетях БПЛА, что может привести к невозможности выполнения реальной миссии.*

**Ключевые слова:** БПЛА, FANET, ретрансляция, маршрутизация, мобильность, NS-3.

### Введение

В последние годы мировым и отечественным научным сообществом активно развивается направление исследований, связанное с использованием летающих сетей беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Применение таких сетей актуально для различных сценариев, например, обеспечение воздушного мониторинга наземной территории в разведывательных и поисково-спасательных миссиях с передачей на наземную станцию видеоданных и изображений, измерение и передача в реальном режиме времени различных параметров: уровень магнитного поля земли, уровень загрязнения воздуха, температура, влажность и так далее. Особенностью таких сетей является то, что их топология подвержена быстрым и частым изменениям и, как следствие, таким же изменениям подвержены маршруты передачи данных от узла-источника (видеока-

мера или датчик на борту узла БПЛА) до узла-получателя (компьютера наземной станции). Важной задачей является исследование существующих протоколов маршрутизации сетевого уровня, таких как AODV, OLSR и других для мобильных самоорганизующихся сетей пользовательских устройств (Mobile Adhoc Network – MANET) применительно к сетям БПЛА (Flying Adhoc Network – FANET) [1–9]. На основе результатов исследований можно выдвигать гипотезы о возможных вариантах улучшения качества передаваемых данных за счет разных алгоритмов.

В работе приведено сравнение результатов аналитической оценки на основе системной модели и симуляции. В первой части описана система имитационного моделирования; вторая часть посвящена описанию системной модели; в третьей части приводятся сценарии для проведения имитационного моделирования; в чет-

© Кайсина И. А., Васильев Д. С., Абилов А. В., Мейтис Д. С., Кайсин А. Е., Нистюк А. И., 2019

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-01201 (разделы «Сценарии имитационного моделирования» и «Анализ результатов») и научного проекта № 18-37-00218 мол\_a (разделы «Системная модель» и «Анализ результатов»).

вертой части представлены результаты сравнения протоколов маршрутизации методом имитационного моделирования.

**Система имитационного моделирования в среде NS-3**

Для проведения имитационного моделирования был использован сетевой симулятор *Network Simulator 3 (NS-3)*. *NS-3* является набором

библиотек и вспомогательных модулей для моделирования сетей и сетевого взаимодействия. Это гибкая и мощная среда за счет использования языка C++ в качестве встроенного языка программирования, с помощью которого реализуется сценарий имитационного моделирования.

Структура сетевого симулятора *NS-3* изображена на рис. 1.

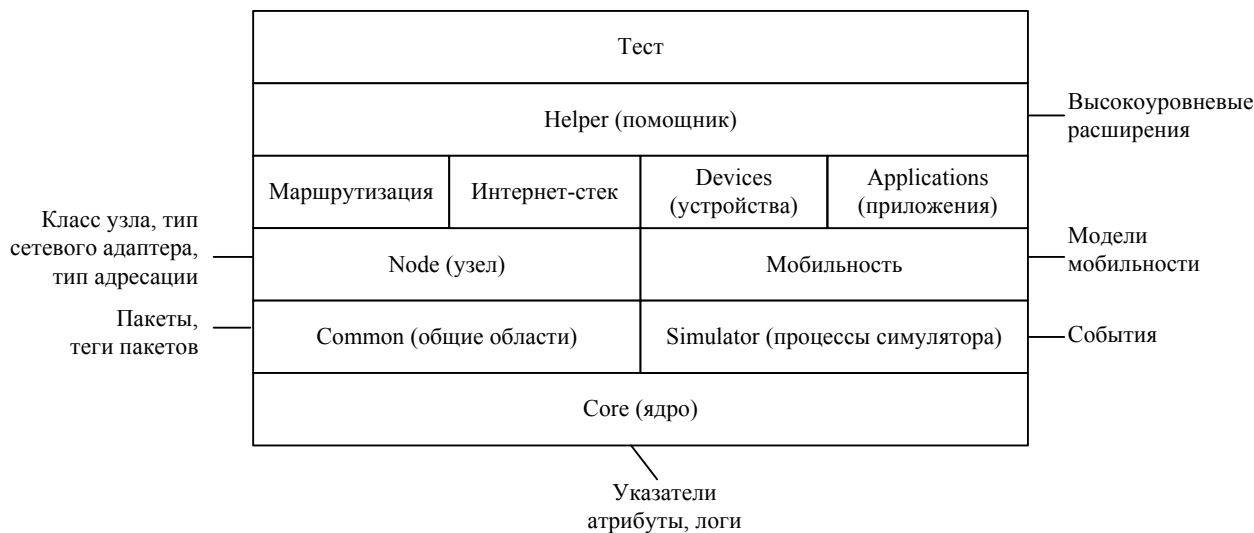


Рис. 1. Структура программного обеспечения NS-3

Fig. 1. NS-3 software structure

Компоненты ядра симулятора *core* поддерживают протоколы всех уровней модели *OSI*, аппаратную составляющую, а также различные модели распространения сигналов. Модули *core* и *network* симулятора *NS-3* образуют универсальное ядро, позволяющее моделировать сети. Программы *NS-3* могут получить прямой доступ к низкоуровневому *API* (интерфейсу программирования приложений) ядра или посредством вспомогательных классов (*helper classes*). С помощью *NS-3* можно симулировать беспроводные сети на основе стандартов *IEEE*, например, *IEEE 802.11n*, *MANET*-сети, *WiMax* (802.16), сотовые сети (*LTE*, *5G*). Это позволяет проводить моделирование с движущимися объектами в трехмерном пространстве [10–13].

В работе приведено сравнение результатов аналитической оценки на основе системной модели и симуляции.

**Системная модель**

В роли модели распространения сигнала для имитационного моделирования была выбрана *Free-Space Mode* [14]. Данная модель используется для определения уровня сигнала, когда передатчик и приемник имеют четкую, беспрепятственную линию видимости. Для вычисления

мощности на приемнике  $R_x$ , дБ, во всех сценариях используется формула из кода *propagation-loss-model.cc* системы *NS-3* на основе формулы передачи Фрииса:

$$R_x = T_x + 10 \log_{10} \left( \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2 L} \right), \quad (1)$$

где  $T_x$  – мощность на передатчике, дБ;  $d$  – расстояние между передатчиком и приемником, м;  $\lambda$  – длина волны, м;  $L$  – системные потери.

Основной целью работы является оценка эффективности передачи потоковых данных через метрики качества обслуживания (*Quality of Service, QoS*). Используя формулы из кода *interference-helper.cc* системы *NS-3* отношение сигнал/шум вычисляется следующим образом [15]:

$$SNR = \frac{R_x}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 cW \cdot 1000000 nF + nI}, \quad (2)$$

где  $1,38 \cdot 10^{-23}$  – постоянная Больцмана;  $cW$  (*channel Width*) – ширина канала;  $nF$  (*noise Figure*) – по умолчанию 7 дБ;  $nI$  (*noise Interference*) – помехи.

При проведении имитационного моделирования передачи данных использовался тип модуляции *BPSK*, и средняя частота ошибок при передаче вычислялась следующим образом [16]:

$$BER = Qfunction \cdot \sqrt{2E_b N_0}. \quad (3)$$

Энергия сигнала, приходящаяся на 1 бит принимаемого сообщения, к энергетической спектральной плотности шума вычисляется по следующей формуле:

$$E_b N_0 = \frac{SNR \cdot cW}{rate}, \quad (4)$$

где *rate* – скорость передачи данных (6 Мбит/с).

Результаты вычислений по формулам (1)–(4) представлены на рис. 2.

После вычислений средней частоты ошибок при передаче можно определить коэффициент

потерь пакетов данных (*Packet Error Rate – PER*) по следующей формуле [17]:

$$PER = 1 - (1 - BER)^K, \quad (5)$$

где  $K = 10000$  – количество бит в одном пакете данных.

Коэффициент доставки пакетов (*Packet Delivery Rate – PDR*) вычисляется по формуле [18]

$$PDR = 1 - PER. \quad (6)$$

Представленные выше формулы описывают системную модель передачи потоковых данных в летающей сенсорной сети.

#### Сценарии для имитационного моделирования

Для анализа эффективности ретрансляции потоковых данных было проведено имитационное моделирование. Всего было исследовано три сценария, для каждого из которых использовались параметры из табл. 1.

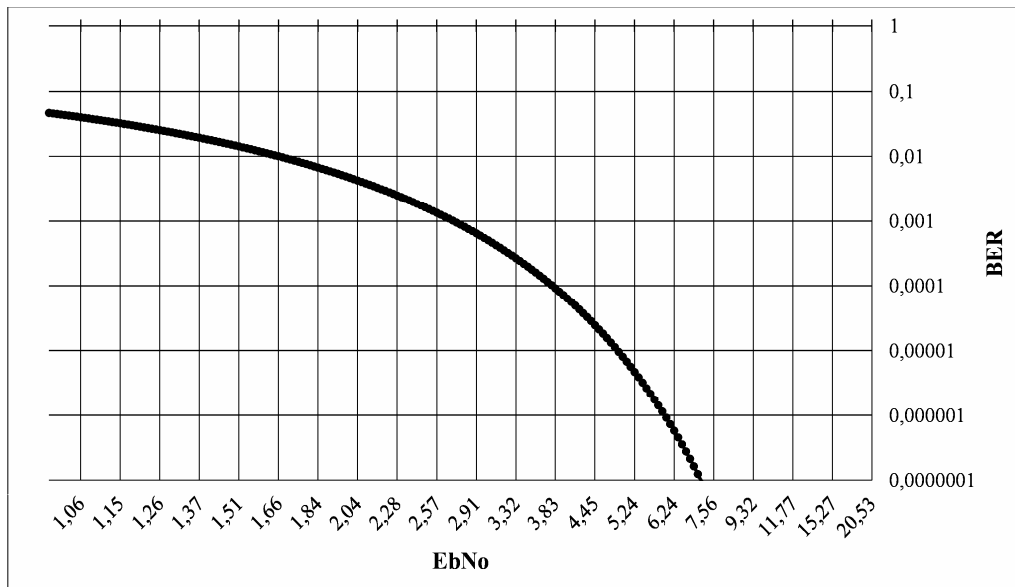


Рис. 2. Зависимость средней частоты ошибок при передаче от  $E_b N_0$

Fig. 2. Dependence of the bit error rate on  $E_b N_0$

Таблица 1. Параметры для имитационного моделирования

Table 1. Parameters for simulation

Наименование параметров	Значения
TxPower, дБ	25
RxNoiseFigure, дБ	7
ChannelWidth, МГц	40
Frequency, Гц	5180
PropagationLossModel	Fri is Propagation Loss Model
SystemLoss	1,08
DataMode	OfdmRate6Mbps
Type	AdhocWifiMac
MaxPackets	480

Окончание табл. 1

Наименование параметров	Значения
PacketSize, байт	1250
Interval, сек.	0,1
SimulationTime, сек.	120,0
Transport Layer	UDP

В первом сценарии узел-источник *B* передавал данные на узел-получатель *A* напрямую без ретранслятора. Расстояние между узлами изменялось от 0 до 2100 м с шагом 10 м (рис. 3). Узел *A* являлся наземной станцией, узел *B* – беспилотным летательным аппаратом (БПЛА), что было прописано в *Mobility Helper*.

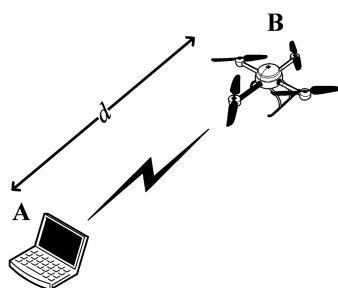


Рис. 3. Первый сценарий имитационного моделирования: передача потоковых данных с узла *B* на узел *A*

Fig. 3. The first simulation scenario, source-node *B* is transmitting streaming data to destination-node *A*

Во втором сценарии между узлами *A* и *B* был добавлен узел-ретранслятор (*Relay*) с включенными протоколами маршрутизации (*OLSR, AODV*). В роли узла-ретранслятора выступал БПЛА, зависший в воздухе на расстоянии  $d = 1190$  м от узла *A* (рис. 4). На расстоянии  $d = 1190$  м  $PDR = 1$ .

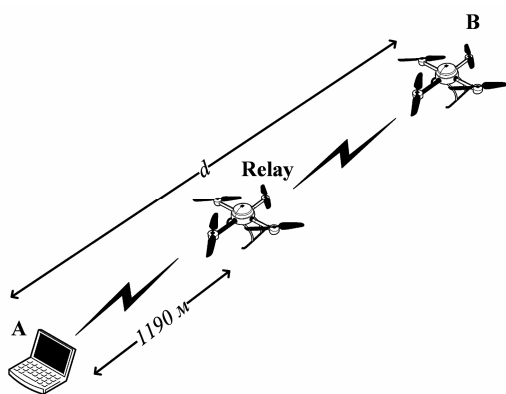


Рис. 4. Второй сценарий имитационного моделирования: передача потоковых данных с узла *B* к узлу *A* через *Relay*

Fig. 4. The second simulation scenario, source-node *B* is transmitting streaming data to destination-node *A* through *Relay* node

В третьем сценарии в качестве узла-ретранслятора использовался БПЛА самолетного типа, который вращался по горизонтальному кругу с заданным радиусом со скоростью 15 м/с. Имитационное моделирование проводилось для различных значений радиуса полета  $r = \{20, 40, 60, 80, 100\}$  м. Расположение узла-ретранслятора изменялось в зависимости от радиуса (БПЛА не выходил за пределы 1190 м) и относительно радиуса равнялось  $1190 - r/2$  м от узла-получателя, при этом узел *B* «улетал» от узла *A* (рис. 5).

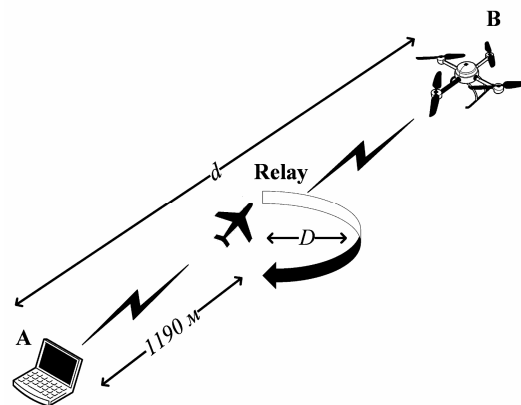


Рис. 5. Третий сценарий: передача потоковых данных с узла *B* к узлу *A* через движущийся *Relay*

Fig. 5. The third simulation scenario, source-node *B* is transmitting streaming data to destination-node *A* through moving *Relay* node

Для третьего сценария в *MobilityHelper* задана скорость движения узла-ретранслятора *Relay* через формулу угловой скорости:

$$\omega = \frac{\vartheta}{r}, \tag{7}$$

где  $\vartheta$  – скорость движения узла-ретранслятора *Relay* (15 м/с);  $r$  – радиус вращения (от 20 до 100 м с шагом в 20 м).

Для проведения имитационного моделирования и сбора статистики написано три программы на языке C++. Каждый сценарий был смоделирован 15 раз, что было задано через зерно случайности (*Random Seed – RS*). Конечным результатом отработки программ являлся вывод на экран количества принятых пакетов.

### Анализ результатов

Для сравнительного анализа эффективности ретрансляции потоковых данных в летающей сенсорной сети использовались формулы из первой части работы. Формула (6) используется при построении зависимостей  $PDR$  от расстояния между узлом-отправителем и узлом-получателем для каждого сценария. Разница в аналитических результатах заключалась в добавлении узла-ретранслятора  $Relay$  между узлом-источником  $B$  и узлом-получателем  $A$ . При добавлении ретранслятора во втором сценарии  $PDR$  высчитывался по формуле

$$PDR_{AB} = PDR_{A\_Relay} \cdot PDR_{Relay\_B}. \quad (8)$$

В третьем сценарии  $PDR$  высчитывался по аналогичной формуле, но расстояния  $A\_Relay$ ,  $Relay\_B$  изменялись в зависимости от радиуса движения узла-ретранслятора.

При проведении имитационного моделирования посчитан средний коэффициент доставки пакетов, который определяется по формуле

$$PDR_{avr} = \frac{\sum_0^{RS} PDR}{15}, \quad (9)$$

где  $\sum_0^{RS} PDR$  – сумма полученных пакетов при изменяющемся зерне случайности  $RS$  от 0 до 15.

Зависимость  $PDR_{avr}$  от расстояния  $d$  по результатам аналитических вычислений и имитационного моделирования представлена на рис. 7. Результаты показывают достаточно близкое их соответствие. При математических вычислениях по формулам (2)–(7)  $PDR_{avr}$  начал снижаться на расстоянии 810 м (от 1 до 0,99) и равнялся 0 на расстоянии  $d = 1940$  м. При имитационном моделировании  $PDR_{avr}$  начал падать на расстоянии  $d = 1200$  м и на расстоянии 1510 м  $PDR_{avr} = 0$ .

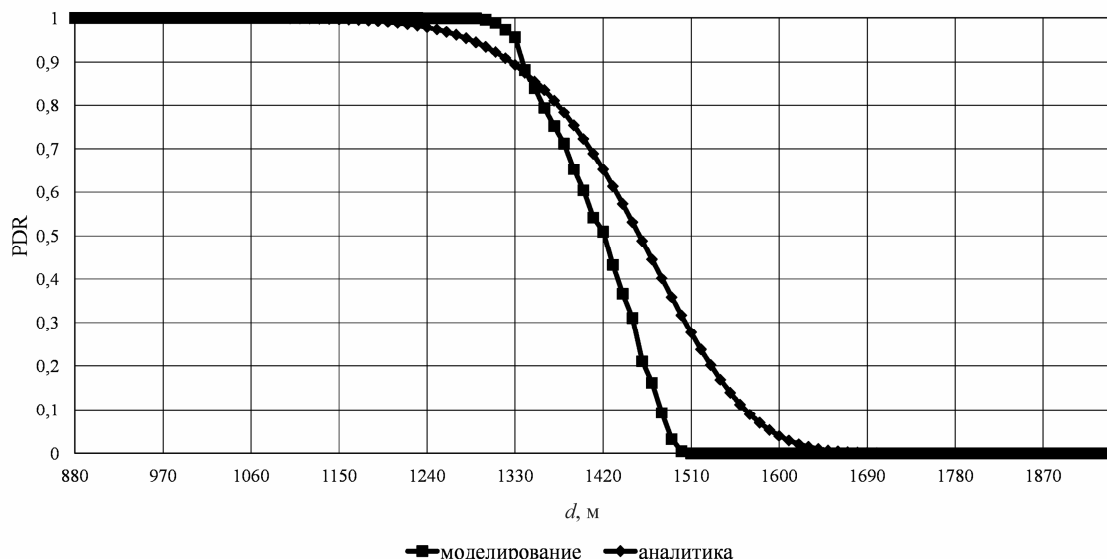


Рис. 6. Результаты имитационного моделирования и вычислений для первого сценария: зависимость  $PDR$  от расстояния  $d$

Fig. 6. The results of simulation and calculations for the first scenario, the dependence of  $PDR$  on distance  $d$

Во втором сценарии между узлом-источником  $B$  и узлом-получателем  $A$  находился узел-ретранслятор на расстоянии  $d = 1190$  м от узла-получателя. На узле-ретрансляторе работали протоколы маршрутизации. На расстоянии 1200 м протокол  $AODV$  начал процесс переключения на узел-ретранслятор, что сказывалось на  $PDR_{avr}$ , коэффициент ухудшался с 1 до 0,99. Полное восстановление соединения для протокола  $AODV$  было на расстоянии 1550 м,  $PDR_{avr} = 1$ . Протокол  $OLSR$  начал работать на расстоянии 1260 м, что также сказывалось на  $PDR_{avr}$ , полное восстановление наблюдалось на расстоянии  $d =$

$= 1600$  м. На расстоянии 2490 м коэффициент снижался у обоих протоколов маршрутизации:  $AODVPDR_{avr} = 0,86$ ;  $OLSRPDR_{avr} = 0,99$ .

Можно заметить, что минимальное значение  $PDR_{avr}$  для протокола  $OLSR$  составляет 0,11, для протокола  $AODV$  0,34 (рис. 7), что может свидетельствовать о более длительном переключении на протокол  $OLSR$ . На расстоянии  $d = 2490$  м  $PDR_{avr}$  начинает уменьшаться, для протокола  $OLSRPDR_{avr} = 0,99$ , для протокола  $AODVPDR_{avr} = 0,86$ . На расстоянии  $d = 2640$  м соединение с узлом-отправителем теряется:  $PDR_{avr} = 0$ .

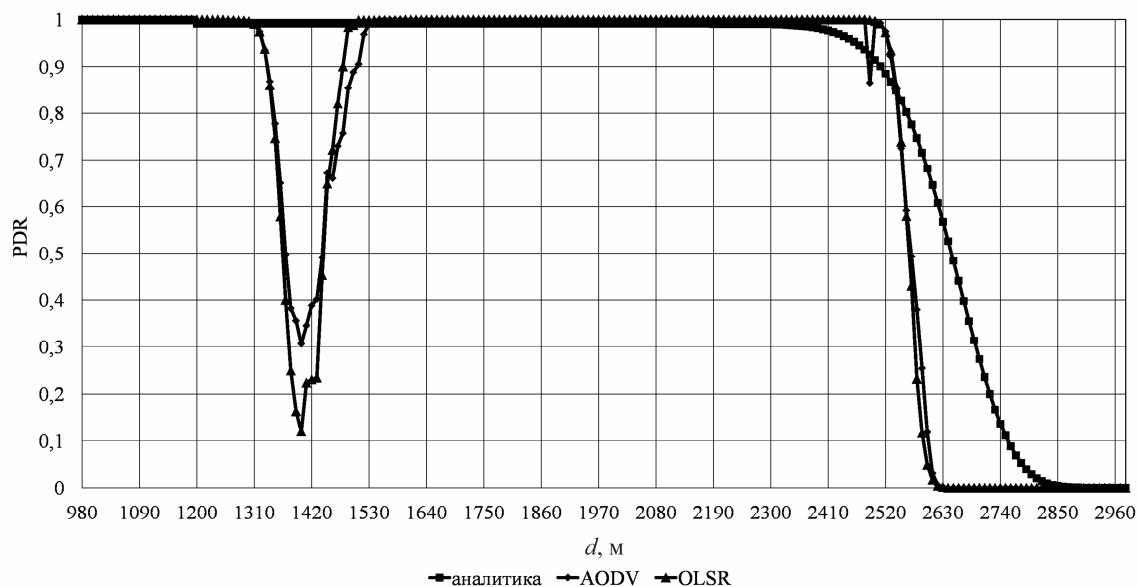


Рис. 7. Результаты имитационного моделирования и вычислений для второго сценария: зависимость PDR от расстояния  $d$  для разных протоколов маршрутизации

Fig. 7. Simulation and computation results for the second scenario, PDR dependence on distance  $d$  for different routing protocols

В третьем сценарии узел-ретранслятор вращался с разными радиусами:  $r = 20 \dots 100$  м, шаг 20. Зависимость  $PDR_{avr}$  для AODV и OLSR от радиуса представлена в табл. 2.

Таблица 2. Значение среднего коэффициента доставки пакетов для протоколов AODV ( $PDR_{AODV}$ ) и OLSR ( $PDR_{OLSR}$ ) в третьем сценарии имитационного моделирования

Table 2. The value of the average packet delivery rate for the AODV ( $PDR_{AODV}$ ) and OLSR ( $PDR_{OLSR}$ ) in the third simulation scenario

$r$ , м	$PDR_{AODV}$	$PDR_{OLSR}$
20	0,825	0,82
40	0,822	0,817
60	0,818	0,813
80	0,817	0,811
100	0,813	0,81

При увеличении радиуса движения средний коэффициент доставки пакетов ухудшался для обоих протоколов маршрутизации. Протокол AODV показал лучшие данные, что связано с более высокой скоростью переключения.

**Выводы**

По результатам исследований можно сделать вывод, что при использовании идеальной модели распространения сигнала Фрииса передача данных начинает ухудшаться на расстоянии  $d = 1200$  м и полностью исчезает на  $d = 1510$  м для первого сценария. При наличии стационарного ретранслятора качество ухудшается на

расстоянии  $d = 2490$  м и полностью исчезает на  $d = 2640$  м. При движении ретранслятора передача данных прекращается на расстоянии  $d = 2630$  м. Таким образом, применение протоколов AODV и OLSR не обеспечивает приемлемое качество передачи данных в сетях беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), следовательно, может привести к невозможности выполнения реальной миссии.

**Библиографические ссылки**

1. Летящие сенсорные сети / А. Е. Кучерявый [и др.] // Электросвязь. 2014. № 9. С. 2–5.
2. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб. : Любавич, 2011. 310 с.
3. Bekmezci I., Sahingoz O.K., Temel Ş. Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey. *Ad Hoc Networks*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 1254-1270.
4. Sahingoz O.K. Networking models in flying ad-hoc networks (FANETs): Concepts and challenges. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2014, vol. 74, no. 1-2, pp. 513-527.
5. Кайсина И. А., Васильев Д. С., Абилов А. В. Анализ эффективности протоколов маршрутизации OLSR и AODV в летающей сети FANET // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2017. Т. 20, №. 1. С. 87–90.
6. Vasiliev D.S., Meitis D.S., Abilov A. Simulation-based comparison of AODV, OLSR and HWMP protocols for flying Ad Hoc networks. *International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking*, Springer, Cham, 2014, pp. 245-252.

7. Леонов А. В., Литвинов Г. А. Применение алгоритма пчелиной колонии BeeAdHoc для маршрутизации в FANET // Вестник СибГУТИ. 2018. №. 1. С. 85–95.

8. Ibrahim I.N. Designing a Real Mathematical Model of a Hexacopter in the Inertial Frame // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2017. Т. 20, №. 1. С. 91–94.

9. Ibrahim I.N., Akkad M.A.A., Abramov I.V. UAV efficient PID and LQR controllers design based on its stochastic state space dynamics model including disturbances. *Electronic and Networking Technologies (MWENT)*. Moscow, Workshop on. IEEE, 2018, pp. 1-9.

10. Henderson T.R. Network simulations with the ns-3 simulator. *SIGCOMM demonstration*, 2008, vol. 14, no. 14, p. 527.

11. Riley G.F., Henderson T.R. The ns-3 network simulator. *Modeling and tools for network simulation*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 15-34.

12. Henderson T.R. The ns-3 project goals. *Proc. 2006 workshop on ns-2: the IP network simulator*. ACM, 2006, p. 13.

13. Кайсина И. А., Васильев Д. С., Абилов А. В. Модель в среде ns-3 для передачи видеоданных в сети БПЛА // Материалы XXIII Республ. выставки-сессии студенческих инновационных проектов. Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2017. С. 69–74.

14. Khosroshahy M. Study and implementation of IEEE 802.11 physical channel model in yans (ns3 prototype) network simulator. *INRIA Report*, 2006, pp. 1-61.

15. Kurniawan A. Selective Route Based on SNR with Cross-Layer Scheme in Wireless Ad Hoc Network. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2017, vol. 2017.

16. Там же.

17. Prabhu R.S., Daneshrad B. An energy-efficient water-filling algorithm for OFDM systems. *Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 1-5.

18. Atya A.O.F. Wireless network coding: Deciding when to flip the switch. *INFOCOM, Proc. IEEE*, 2013, pp. 260-264.

## References

1. Kucherjavyj A.E., Vladyko A.G., Kirichek R.V., Paramonov A.I., Prokop'ev A.V., Bogdanov I.A., Dort-Gol'c A.A. [Flying sensor networks]. *Telecommunications*, 2017, no. 9, pp. 2-5 (in Russ.).

2. Kucheryavyi A.E., Prokopyev A.V., Kucheryavyy E.A. *Samoorganizuyushchiesya seti* [Self-organizing networks]. St. Petersburg, Lubavitch Publ., 2011, 310 p. (in Russ.).

3. Bekmezci I., Sahingoz O.K., Temel Ş. Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey. *Ad Hoc Networks*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 1254-1270.

4. Sahingoz O.K. Networking models in flying ad-hoc networks (FANETs): Concepts and challenges.

*Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2014, vol. 74, no. 1-2, pp. 513-527.

5. Kaysina I.A., Vasiliev D.S., Abilov A.V. [Analysis of Efficiency for AODV and OLSR Routing Protocols in Flying Ad Hoc Networks]. *VestnikI zhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 87-90 (in Russ.).

6. Vasiliev D.S., Meitis D.S., Abilov A. Simulation-based comparison of AODV, OLSR and HWMP protocols for flying Ad Hoc networks. *International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking*, Springer, Cham, 2014, pp. 245-252.

7. Leonov A.V., Litvinov G.A. [Application of the bee colony algorithm BeeAdHoc for routing in FANET]. *Vestnik SibGUTI*, 2018, no. 1, pp. 85-95 (in Russ.).

8. Ibrahim I.N. [Designing a Real Mathematical Model of a Hexacopter in the Inertial Frame]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 91-94.

9. Ibrahim I.N., Akkad M.A.A., Abramov I.V. UAV efficient PID and LQR controllers design based on its stochastic state space dynamics model including disturbances. *Electronic and Networking Technologies (MWENT)*. Moscow, Workshop on. IEEE, 2018, pp. 1-9.

10. Henderson T.R. Network simulations with the ns-3 simulator. *SIGCOMM demonstration*, 2008, vol. 14, no. 14, p. 527.

11. Riley G.F., Henderson T.R. The ns-3 network simulator. *Modeling and tools for network simulation*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, pp. 15-34.

12. Henderson T.R. The ns-3 project goals. *Proc. 2006 workshop on ns-2: the IP network simulator*. ACM, 2006, p. 13.

13. Kaysina I. A., Vasilyev D. S., Abilov A. V. [Model in the ns-3 environment for transmitting video data in the UAV network]. *Proc. XXIII Rep. exhibition-session of student innovation projects IZSTU named after MT Kalashnikov*. 2017, pp. 69-74 (in Russ.).

14. Khosroshahy M. Study and implementation of IEEE 802.11 physical channel model in yans (ns3 prototype) network simulator. *INRIA Report*, 2006, pp. 1-61.

15. Kurniawan A. Selective Route Based on SNR with Cross-Layer Scheme in Wireless Ad Hoc Network. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2017, vol. 2017.

16. Kurniawan A. Selective Route Based on SNR with Cross-Layer Scheme in Wireless Ad Hoc Network. *Journal of Computer Networks and Communications*, 2017, vol. 2017.

17. Prabhu R.S., Daneshrad B. An energy-efficient water-filling algorithm for OFDM systems. *Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 1-5.

18. Atya A.O.F. Wireless network coding: Deciding when to flip the switch. *INFOCOM, Proc. IEEE*, 2013, pp. 260-264.

## A Comparative Performance Analysis of Relaying Data in FANET

*I.A. Kaysina*, Post-graduate, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*D.S. Vasil'ev*, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*A.V. Abilov*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*D.S. Meitis*, CJSCNPO Telecom, Izhevsk, Russia

*A.E. Kaysin*, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*A.I. Nistyuk*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

*In this paper, we analyze Quality of Service metrics (QoS). We observe the situation with relaying streaming data in Flying Ad Hoc Networks (FANET). The efficiency was analyzed analytically and with using Network Simulator-3 (NS-3).*

*All calculations are made for three scenarios. In the first scenario, the source node is removed from the destination node at a certain distance. In the second scenario, a flying relay node is added between the source node and the destination node, which runs one of the routing protocols; the source node is also removed from the destination node. In the third scenario, the relay node flies in a circle with a different radius, with the source node moving away from the destination node. In all scenarios, comparative results of simulation modeling and mathematical calculations are given. Free-Space Mode was chosen as a propagation model for simulation. In the first scenario, an analytical graph of the dependence of the average error rate during transmission on energy per bit is constructed. For all other scenarios, graphs of the dependence of the average packet delivery ratio on the distance were plotted.*

**Keywords:** UAV, FANET, relay, routing, mobility, NS-3.

Получено 18.12.2018

### Образец цитирования

Сравнительный анализ эффективности ретрансляции потоковых данных в летающей сети / И. А. Кайсина, Д. С. Васильев, А. В. Абилов, Д. С. Мейтис, А. Е. Кайсин, А. И. Нистюк // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 1. С. 108–115. DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-108-115.

### For Citation

Kaisina I.A., Vasil'ev D.S., Abilov A.V., Meitis D.S., Kaysin A.E., Nistyuk A.I. [Comparative analysis of the effectiveness of streaming data retransmission in a flying network]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 108-115 (in Russ.). DOI 10.22213/2413-1172-2019-1-108-115.