

УДК 621.391

DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-91-99

Оценка качества передачи мультимедийных видеоданных с борта беспилотного летательного аппарата к наземной станции в имитационной среде Network Simulator 3 с использованием стандартов Wi-Fi*

Р. Э. Шибанов, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

И. А. Кайсина, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

А. В. Абилов, кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия

К. Э. Корепанов, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Представлены результаты имитационного моделирования процесса передачи видеоданных в режиме реального времени с видеочастицей на борту беспилотных летательных аппаратов к наземной станции. Основной целью статьи является оценка влияния количества летающих узлов-источников на метрики Quality of Service (QoS), такие как коэффициент доставки пакетов (Packet Delivery Ratio) и полезная пропускная способность (Goodput) на прикладном уровне модели Open Systems Interconnection (OSI).

Рассмотрен сценарий, в котором зависшие в воздухе беспилотные летательные аппараты в зоне устойчивой связи передавали поток видеоданных на наземную станцию. Далее расстояние между беспилотными летательными аппаратами и наземной станцией увеличивалось для повторной итерации эксперимента. В ходе эксперимента скорость передачи данных поддерживалась на одном уровне, близком к скорости передачи реального видео высокого разрешения. Эксперимент проводился в среде имитационного моделирования Network Simulator 3 (NS-3). В эксперименте рассматривались сценарии с разным количеством узлов-источников: одним, двумя, четырьмя и восемью.

По результатам моделирования было выявлено негативное влияние увеличения количества летающих узлов-источников на показатели качества обслуживания (QoS), таких как коэффициент доставки пакетов (PDR) и Goodput. Даны рекомендации по улучшению качества связи для сценариев использования беспилотных летательных аппаратов в режиме мультимедийной передачи видеоданных, такие как добавление узлов-ретрансляторов для балансировки нагрузки и использование ARQ прикладного уровня. Также было обнаружено изменение зависимости полезной пропускной способности на 15 % от количества узлов-источников.

Ключевые слова: БПЛА, NS-3, Wi-Fi, PDR, Goodput, мультимедийная передача.

Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно используются в настоящее время для выполнения важных миссий. Одним из наиболее распространенных видов выполняемых работ с помощью БПЛА является мониторинг (например, мониторинг обширных наземных территорий, линий электропередач или нефтегазопровода и др.). При этом наиболее часто при решении задач используется лишь один БПЛА в связи со сложностью управления несколькими аппаратами и связанными с этим экономическими затратами. В будущем возможно применение нескольких БПЛА при осуществлении одновременной передачи потоковых видеоданных с летающих узлов на наземную станцию (НС). При выполнении различных миссий в таких сценариях нередки аварийные ситуации: потеря связи между НС и БПЛА, выход одного из группы аппаратов из

строения и др. В целях предотвращения вышеперечисленных аварийных ситуаций необходимо обеспечивать надежную и качественную связь между НС и БПЛА [1].

Для прогнозирования исхода миссии и тестирования каналов связи могут быть использованы сетевые симуляторы, например Network Simulator 3 (NS-3). В статье представлен результат функционирования нескольких разработанных программ для имитационного моделирования процесса мультимедийной передачи видеоданных в сети БПЛА с использованием сетевого симулятора NS-3. Полученные результаты могут носить рекомендательный характер при выборе беспроводных стандартов связи и при выполнении мониторинга различных объектов [2].

Цель исследования – оценка влияния количества летающих узлов-источников на метрики Quality of Service (QoS) для выдачи рекоменда-

ций относительно применения разных видов улучшения качества связи между БПЛА и НС.

Постановка задачи

Основной задачей являлся анализ мультипоточковой передачи видеоданных с борта БПЛА с использованием семейства стандартов Wi-Fi 802.11 n/ac/ax. Метрикой оценки качества обслуживания QoS был выбран коэффициент доставки пакетов данных прикладного уровня (PDR). Также в качестве метрики использовалась полезная пропускная способность (Goodput). Для реализации данной задачи было выбрано специализированное программное обеспечение (ПО) для имитационного моделирования процесса передачи данных NS-3 [3, 4].

Симулятор NS-3 – свободное программное обеспечение для симуляции процесса передачи данных в сети, служащее основным инструментом для тестирования сетей LAN, WAN и Wi-Fi. NS-3 включает в себя программные модули. Модуль Wi-Fi (NetDeviceWi-Fi) является одним из наиболее востребованных и реализует стандарты IEEE 802.11, с помощью которых могут быть выполнены симуляции разных настроек канального и физических уровней. Модуль Wi-Fi, используемый в NS-3, является обширным и содержит 75 объектов, ряд переменных и функций.

На рисунке 1 представлена схема имитационной модели сети передачи данных в NS-3 [5, 6].

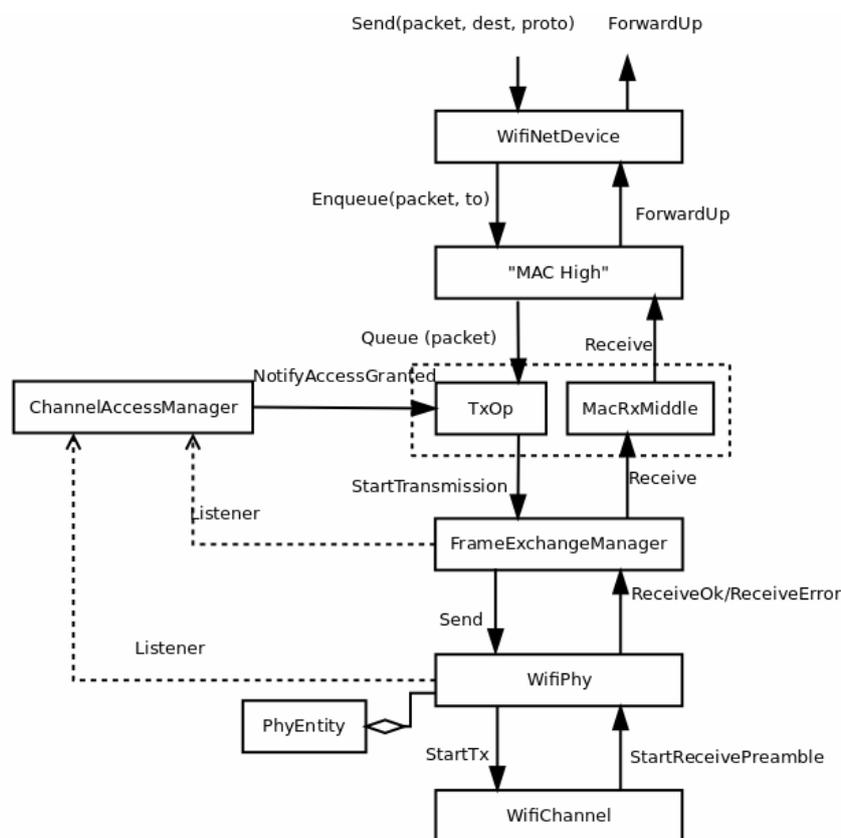


Рис. 1. Схема имитационной модели

Fig. 1. Scheme of the simulation model

Схема имитационной модели работает следующим образом. Принятые пакеты попадают в класс WifiNetDevice, где моделируется контроллер интерфейса беспроводной сети на основе семейства стандартов 802.11. После этого пакеты попадают в «очередь» класса MAC High, далее – в уровень TxOp, где происходит обработка пакетов и повторные передачи для кадров данных и управления. Затем начинается передача данных на уровень FrameExchangeManager –

класс, обрабатывающий базовые последовательности обмена кадрами для станций без QoS; после происходит отправка пакетов в класс WifiPhy, где обеспечивается корректная работа отправки и приема кадров. Далее пакеты могут направиться на уровень PhyEntity – класс, который позволяет иметь уникальный набор API-интерфейсов для использования каждым объектом Phy, или на WifiChannel. Также в классах FrameExchangeManager и WifiPhy в режиме

Listening находится класс ChannelAccessManager, который занимается обработкой параметров доступа.

В обратном порядке информация передается следующим образом. С класса WifiChannel начинается образование преамбулы PHY PDU, то есть прибавление первой части преамбулы. Далее происходит подтверждение отправки пакетов в классе FrameExchangeManager. После следует прием на уровень MacRxMiddle, где обрабатывается очередь, фрагментация пакетов и повторная передача пакета. На уровнях Mac High и WifiNetDevice происходит прием пакета от нижнего класса для пропуска вверх по стеку [7–9].

Сценарий имитационного моделирования

На рисунке 2 представлен сценарий для проведения имитационного моделирования.

Для оценки влияния количества летающих узлов-источников на метрики QoS при разных стандартах Wi-Fi и параметрах (например, индекс модуляции) было проведено имитационное моделирование в NS-3. Сценарий моделирования выглядит следующим образом: НС располагается в начале координат; в свою очередь, летающие узлы-источники (БПЛА) на расстоянии в 2 м друг от друга удаляются от этой точки до возникновения потерь, затем фиксируется расстояние от начала потерь до полного обрыва связи [10, 11]. БПЛА передает 1000 пакетов видеоданных по одному из стандартов семейства Wi-Fi 802.11 n/ac/ax к НС, при этом расстояние между узлом-источником и НС определялось в ходе моделирования. Во время эксперимента проводились измерения для одного, двух, четырех и восьми источников. Так, для стандарта 802.11n при ширине канала 20 МГц и схеме кодирования MCS3 для всех сценариев имитационного моделирования показатель качества передачи PDR начинал ухудшаться на расстоянии 225 м (рис. 5), для стандарта 802.11ac при схеме кодирования MCS3 для всех сценариев имитационного моделирования – на расстоянии 113 м (рис. 4), а для стандарта 802.11ax при схеме кодирования MCS3 – на расстоянии 110 м (рис. 3).

Расстояние d между НС и узлами-источниками БПЛА определялось для каждого стандарта семейства Wi-Fi 802.11 в процессе моделирования.

Параметры для имитационного моделирования

При проведении имитационного моделирования изменялись параметры, представленные в таблице 1.

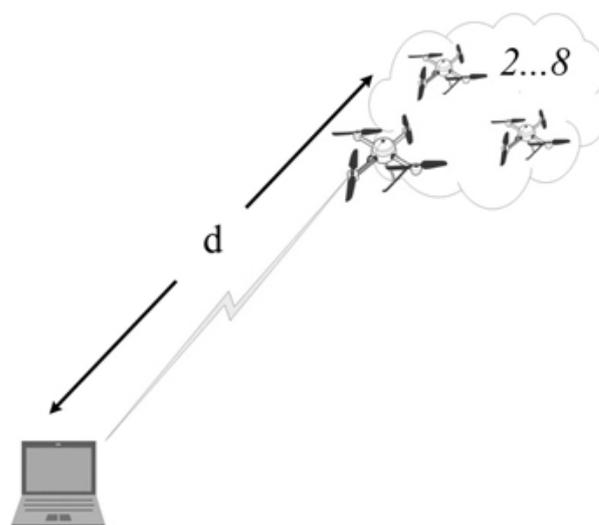


Рис. 2. Процесс мультипоточковой передачи данных от 2-го, 4-го и 8-го узлов-источников

Fig. 2. The process of multi-polling data from 2, 4 and 8 nodes-sources

Таблица 1. Параметры имитационной модели

Table 1. The parameters of the simulation model

Наименование параметров	Значения
TxPower, дБ	13
RxNoiseFigure, дБ	7
ChannelWidth, МГц	20/40/80
Frequency, Гц	5180/5210/5230
PropagationLossModel	FriisPropagationLossModel
DataMode	High Throughput (HT)/ Very High Throughput (VHT)
PacketSize, байт	1250
SimulationTime, с	33,3
Transport Layer	UDP
DataRate, Мбит/с	3

В таблице: Tx Power, дБ, – мощность передатчика, величина 13 была выбрана исходя из того, что на некоторых БПЛА используются микрокомпьютеры raspberry [12, 13], которые имеют указанный параметр; Rx Noise Figure, дБ, – коэффициент шума; ChannelWidth, МГц, – ширина канала для стандартов семейства Wi-Fi 802.11, на которой проводилось имитационное моделирование; Frequency, Гц, – рабочие частоты для стандартов семейства Wi-Fi 802.11, на которых проводилось имитационное моделирование; PropagationLossModel – модель распространения радиосигнала в открытой среде Гарольда Фрииса (модель распространения была выбрана исходя из того, что БПЛА в основном выполняют миссии в открытом пространстве без препятствий); DataMode – индекс модуляции присваивается каждому стандарту Wi-Fi (ht/vht/ht); PacketSize, байт, – размер пакета в байтах; SimulationTime, с, – время симуляции за которое передается 1000 пакетов; TransportLayer – транспортный уровень модели OSI (протокол UDP был выбран в связи с тем, что передача данных является потоковой); DataRate, Мбит/с, – скорость передачи данных (скорость передачи в 3 Мбит/с имитирует передачу видеосигнала).

В зависимости от сценария изменялись следующие параметры:

- ChannelWidth – 20 и 40 МГц для стандарта 802.11n и 80 МГц для стандартов 802.11ac/ax;
- Frequency – 5180 Гц для стандарта 802.11n, 5210 Гц для стандарта 802.11ac, 5230 Гц для стандарта 802.11ax;
- DataModeHt для стандарта 802.11n и Vht для стандарта 802.11ac/ax [14–16].

Результаты моделирования

Для установки фактической скорости передачи данных 3 Мбит/с (для имитации процесса передачи видеоданных) при моделировании была найдена зависимость интервала между пакетами от максимальной скорости, указанной в таблице 2.

Для вычисления интервала между пакетами использовалась следующая формула:

$$\gamma = \frac{1 - (1000 \cdot 300 / v)}{300}, \quad (1)$$

где γ – интервал между пакетами; v – скорость, бит/с; 1000 – общее количество передаваемых пакетов; 300 – количество пакетов, передаваемое за 1 с.

Исходя из формулы (1) для разных стандартов Wi-Fi и индексов модуляции MCS изменился интервал между пакетами.

Значения интервалов представлены в таблице 3.

Таблица 2. Modulation and Coding Scheme (MCS) для семейства стандартов 802.11

Table 2. Modulation and Coding Scheme (MCS) for the family of standards 802.11

Индексы MCS			Пространственный поток	Модуляция	Кодирование	OFDM		
HT	VHT	HE				Максимальная скорость Мбит/с		
						20 МГц	40 МГц	80 МГц
0	0	0	1	BPSK	1/2	6,5	13,5	29,3
1	1	1	1	QPSK	1/2	13	27	58,5
2	2	2	1	QPSK	3/4	19,5	40,5	87,8
3	3	3	1	16-QAM	2/3	26	54	117
4	4	4	1	16-QAM	3/4	39	81	175,5
5	5	5	1	64-QAM	2/3	52	108	234
6	6	6	1	64-QAM	3/4	58,5	121,5	263,3
7	7	7	1	64-QAM	5/6	65	135	292,5

Таблица 3. Интервалы между пакетами, с

Table 3. Intervals between packages, s

Индекс модуляции	Стандарты Wi-Fi			
	802.11n 20 МГц	802.11n 40 МГц	802.11ac 80 МГц	802.11ax 80 МГц
MCS0	0,001795	0,00259	0,00299	0,00299
MCS1	0,002564	0,00296	0,003162	0,003162
MCS2	0,00282	0,00308	0,00322	0,00322
MCS3	0,002948	0,00314	0,003248	0,003248
MCS4	0,00308	0,00320	0,003276	0,003276
MCS5	0,003141	0,00324	0,003291	0,003291
MCS6	0,003162	0,00325	0,003295	0,003295
MCS7	0,003179	0,00325	0,003299	0,003299

Для оценки качества передачи видеоданных использовалась метрика PDR, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$PDR = \frac{R_x}{T_x}, \quad (2)$$

где R_x – количество принятых пакетов; T_x – количество отправленных пакетов.

Результаты моделирования для стандарта 802.11ax при 1, 2, 4 и 8 источниках с индексом модуляции MCS3 представлены на рисунке 3.

Как следует из графика, представленного на рисунке 3, на расстоянии 117 м начинается снижение PDR; также можно наблюдать негативное влияние увеличения количества узлов источников. Так, для 4 источников на расстоянии 117 м PDR равен 0,945, для 1 источника – 0,96. При этом полученные значения PDR для 8 узлов-источников связаны с особенностями реализованной модели в NS-3.

Результаты моделирования для стандарта 802.11ac для 1, 2, 4 и 8 источников с индексом модуляции MCS3 представлены на рисунке 4.

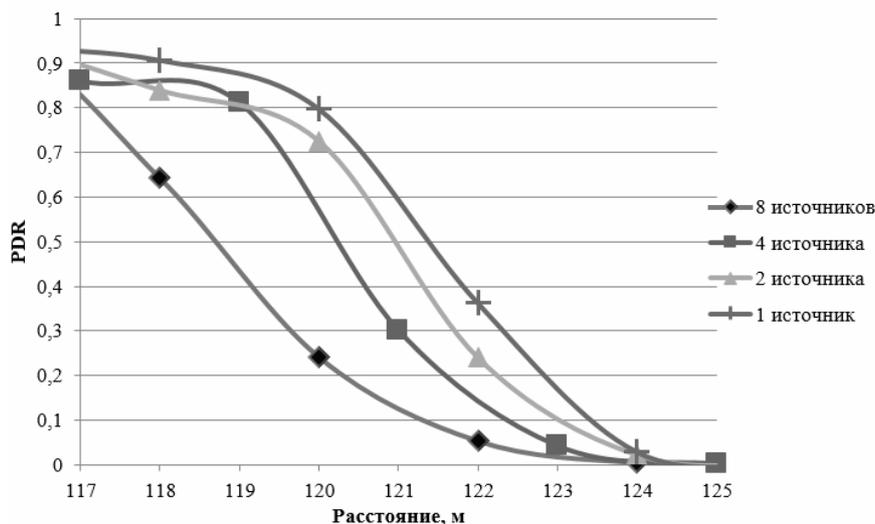


Рис. 3. Диаграммы зависимости PDR от расстояния между БПЛА и НС для стандарта 802.11ax при разном количестве узлов-источников

Fig. 3. PDR dependence on the distance between the UAV and the GS for the 802.11ax standard with a different number of nodes-sources

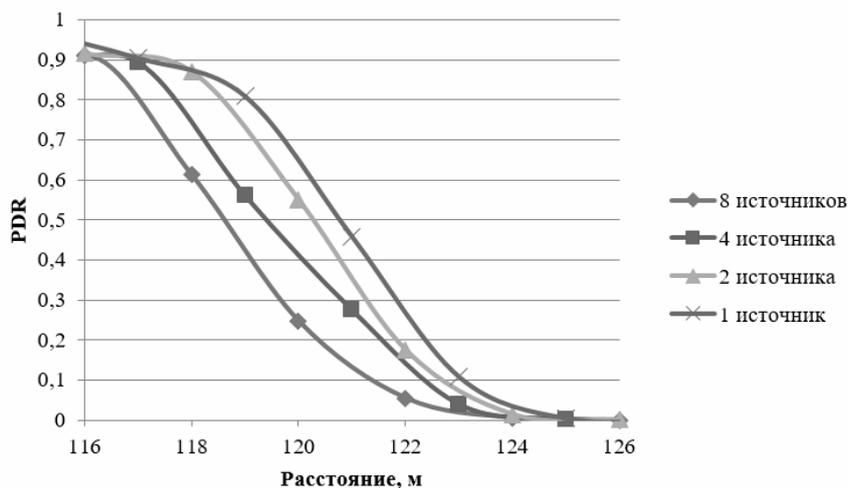


Рис. 4. Диаграммы зависимости PDR от расстояния между БПЛА и НС для стандарта 802.11ac при разном количестве узлов-источников

Fig. 4. PDR dependence on the distance between the UAV and the GS for the 802.11ac standard with a different number of nodes-sources

Как следует из графиков, представленных на рисунке 4, на расстоянии 116 м начинается снижение PDR; также можно наблюдать негативное влияние увеличения количества узлов-источников. Так, для 4 источников на расстоянии 116 м PDR равен 0,929, для 1 источника – 0,937.

Результаты моделирования для стандарта 802.11n 20 МГц для 1, 2, 4 и 8 источников с индексом модуляции MCS3 представлены на рисунке 5.

Как следует из графиков, представленных на рисунке 5, на расстоянии 230 м начинается сни-

жение PDR; также можно наблюдать влияние увеличения количества узлов-источников. Так, для 4 источников на расстоянии 230 м PDR равен 0,83, для 1 источника – 0,97.

По результатам моделирования была получена зависимость влияния стандартов Wi-Fi и настраиваемых параметров в NS-3 на метрику QoS – Goodput. Goodput – это полезная пропускная способность на уровне приложения, то есть количество полезной информации, бит, доставленной сетью в определенное место назначения за единицу времени.

Для вычисления Goodput использовалась следующая формула [17]:

$$Goodput = \frac{buf \cdot 1250 \cdot 8}{t}, \quad (3)$$

где buf – число пакетов в буфере на узле-получателе в момент завершения симуляции; 1250 – размер пакета, байт; 8 – число бит в бай-

те; t – время проведения симуляции, с, определенной для скорости 3 Мбит/с [18].

Согласно формуле (3) можно получить зависимость влияния количества источников на Goodput при скорости 3 Мбит/с, индексом модуляции MCS3 и расстоянии 117 м для различных стандартов Wi-Fi.

Результаты для стандарта 802.11ac представлены на рисунке 6.

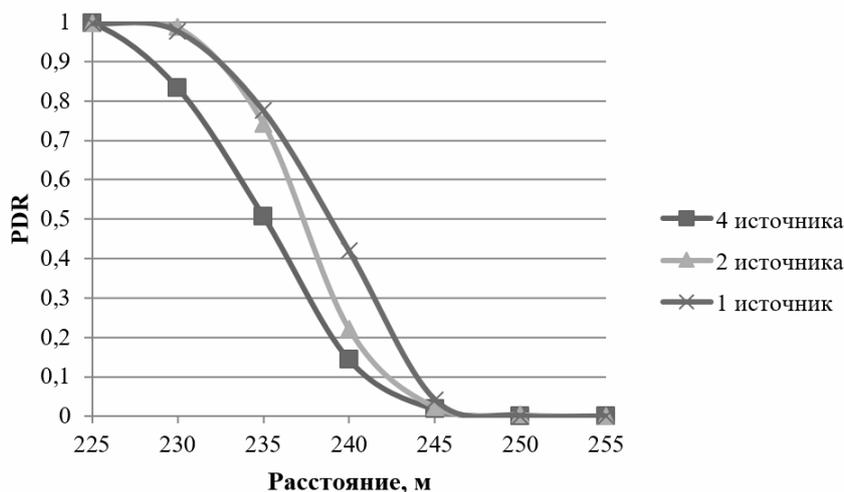


Рис. 5. Диаграммы зависимости PDR от расстояния между БПЛА и НС для стандарта 802.11n 20 МГц при разном количестве узлов-источников

Fig. 5. PDR dependence on the distance between the UAV and the GS for the 802.11n standard with a different number of nodes-sources

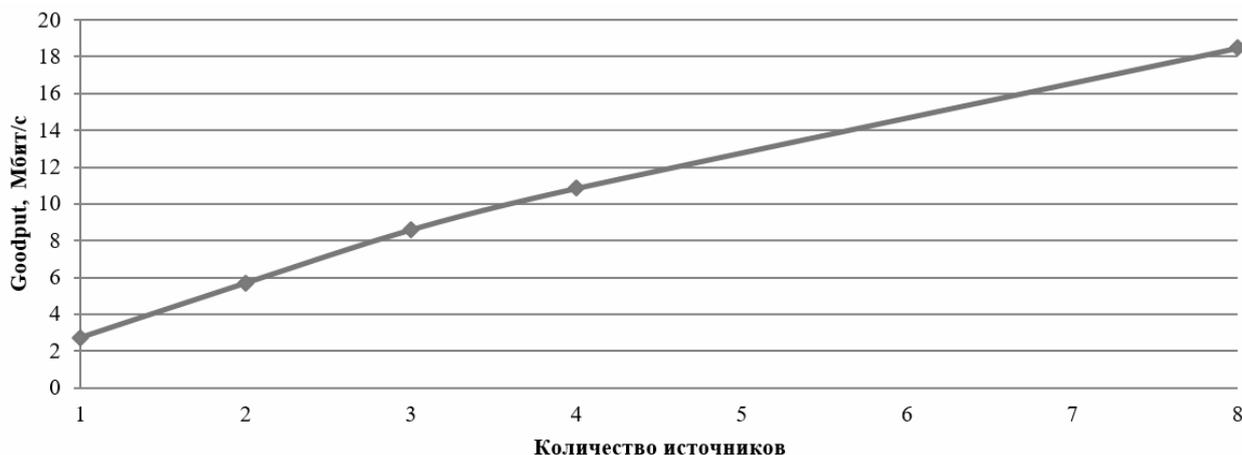


Рис. 6. Диаграмма зависимости Goodput от количества источников для стандарта 802.11ac

Fig. 6. Goodput dependence diagram on the number of sources for the standard 802.11ac

Из рисунка 6 следует, что при увеличении количества источников до 4 зависимость полезной пропускной способности Goodput от количества источников линейная. Так, для 2, 3 и 4 источников скорость растет в 2, 3 и 4 раза и равна, соответственно, 5,71; 8,6 и 10,84

Мбит/с. Но при достижении 8 источников наблюдается отклонение от линейной зависимости Goodput, скорость при этом отличается примерно на 15 % от предполагаемой и составляет 18,47 Мбит/с. Это связано с наложением каналов связи и увеличением нагрузки в сети

[19, 20]; также следует учитывать моделирование, а не реальную постановку эксперимента.

Таким образом, увеличение количества узлов-источников повышает требования к Goodput, следовательно, повышается и нагрузка на сеть, что может вызвать перегрузку буфера узла-получателя и ухудшение качества видеоизображения на выходе. Возможные решения проблемы – использование нескольких узлов-ретрансляторов и применение алгоритмов, увеличивающих дальность связи, например ARQ, на прикладном уровне.

Выводы

Разработаны программы на языке C++, реализующие сценарии передачи данных с использованием разных стандартов Wi-Fi и их характеристик в программном симуляторе NS-3. Для каждого стандарта семейства 802.11 разработан отдельный код для более точного моделирования процесса передачи данных. Передача данных происходила напрямую от БПЛА к НС с использованием модели распространения Фрииса, основанной на формуле распространения сигнала Гарольда Фрииса в открытом пространстве. Благодаря проведению имитационного моделирования появилась возможность оценить влияние количества летающих узлов-источников на метрики передачи потоковых видеоданных QoS – PDR и Goodput.

С помощью данных метрик была определена зависимость PDR от количества источников на определенном расстоянии. Так, при работе стандарта Wi-Fi 802.11n (ширина канала 20 МГц) для 1 источника на расстоянии 230 м PDR равен 0,97, а для 8 источников – 0,001; при стандарте Wi-Fi 802.11ac (ширина канала 80 МГц) для 1 источника на расстоянии 116 м PDR равен 0,937, а для 8 источников – 0,91; при стандарте Wi-Fi 802.11ax (ширина канала 80 МГц) для 1 источника на расстоянии 115 м PDR равен 0,96, а для 8 источников – 0,93. Следовательно, PDR снижается не только при увеличении расстояния между БПЛА и НС, но и зависит от количества узлов-источников.

Зависимость полезной пропускной способности, измеряемой от 1 до 4 узлов, оставалась линейной, однако при 8 источниках увеличение отклонилось на 15 % от предполагаемой величины, что связано с наложением каналов связи, увеличением нагрузки в сети и особенностями среды для проведения моделирования. Следовательно, увеличение источников негативно сказывается на PDR и повышает требования к Goodput.

Улучшить PDR, следовательно, и качество передаваемых данных возможно с помощью различных методов и алгоритмов передачи данных на всех уровнях модели OSI, таких как введение дополнительных узлов-ретрансляторов для балансировки нагрузки сети или использование ARQ прикладного уровня.

Библиографические ссылки

1. *Кайсина И. А.* Моделирование полезной пропускной способности сети БПЛА при мультипоточковой передаче // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6, № 1. С. 100–108.
2. *Campanile L.* (2020) Computer network simulation with ns-3: A systematic literature review. *Electronics*, 2020, vol. 9, no. 2, p. 272.
3. Обзор методов улучшения доставки потоковых данных в беспроводных самоорганизующихся сетях / В. В. Титов [и др.] // Приборостроение в XXI веке – 2020. Интеграция науки, образования и производства : материалы конференции. Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2020. С. 226–233.
4. *Masiukiewicz A.* (2019) Throughput comparison between the new HEW 802.11 ax standard and 802.11 n/ac standards in selected distance windows. *International J. of Electronics and Telecommunications*, 2019, vol. 65, no. 1, pp. 79-84.
5. *Ravindranath N. S.* (2016) Performance Evaluation of IEEE 802.11 ac and 802.11 n using NS3. *Indian J. of Science and Technology*, 2016, vol. 9, no. 26, pp. 1-9.
6. *Rochim A. F.* (2020) Performance Comparison of Wireless Protocol IEEE 802.11 ax vs 802.11 ac. 2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA). IEEE, 2020, pp. 1-5.
7. *Кутузов О. И., Татарникова Т. М.* Метод ускоренного имитационного моделирования сетевых узлов коммутации // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2019. Т. 62, № 1. С. 23–31.
8. *Репин Д. С., Филаретов Г. Ф., Червова А. А.* Исследование фрактальных характеристик сетевого трафика // Информатизация образования и науки. 2019. № 2. С. 48–67.
9. *Sharoar Jahan Choyon A. K. M., Chowdhury R.* (2020) Performance comparison of free-space optical (FSO) communication link under OOK, BPSK, DPSK, QPSK and 8-PSK modulation formats in the presence of strong atmospheric turbulence. *J. of Optical Communications*, 2020.
10. *Borges D.* (2019) Low Complexity Millimeter Wave Point-to-point Communication: Interference Assessment of BPSK vs QPSK Decomposition. 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS-Spring). IEEE, 2019, pp. 2376-2384.
11. *Фокин Г. А., Владыко А. Г.* Позиционирование транспортных средств с комплексированием дальномерных, угломерных и инерциальных измерений в расширенном фильтре Калмана // Труды учебных заведений связи. 2021. № 7 (2). С. 51–67.

12. Li B. (2019) Physical-layer security in space information networks. *IEEE Internet of Things J.*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 33-52.

13. Sun X. (2019) Physical layer security in UAV systems: Challenges and opportunities. *IEEE Wireless Communications*, 2019, vol. 26, no. 5, pp. 40-47.

14. Karmakar R., Chattopadhyay S., Chakraborty S. (2017) Impact of IEEE 802.11 n/ac PHY/MAC high throughput enhancements on transport and application protocols. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2017, vol. 19, no. 4, pp. 2050-2091.

15. Khan G. Z. (2016) On the Field Level Loss of a VHT PPDU in a MIMO-OFDM System for a WiFi Direct 802.11 ac WLAN. 2016 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT). *IEEE*, 2016, pp. 164-169.

16. Masiukiewicz A. (2019) Throughput comparison between the new HEW 802.11 ax standard and 802.11 n/ac standards in selected distance windows. *International J. of Electronics and Telecommunications*, 2019, vol. 65, no. 1, pp. 79-84.

17. Глушаков В. Е. Исследование различных моделей передачи данных двумя станциями в сети Wi-Fi // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 9-1 (111). С. 17–24.

18. Shvyrev B. A., Timonov D. A. (2019) Acoustic information leakage channel by means of visible light modulation // *Вестник УрФО*. 2019. Т. 31, № 1. С. 11–16.

19. Chen Y. C., Towsley D., Khalili R. (2016) MSPlayer: Multi-source and multi-path video streaming. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 2016, vol. 34, no. 8, pp. 2198-2206.

20. Saliba D. (2019) Planning and Profit Sharing in Overlay WiFi and LTE Systems toward 5G Networks. *J. of Software Engineering and Applications*, 2019, vol. 12, pp. 491-508.

References

1. Kaysina I.A. (2020) [Modeling the useful bandwidth of the UAV network in multi-stream transmission]. *Trudi uchebnih zavedeniy svyazi*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 100-108 (in Russ.).

2. Campanile L. (2020) Computer network simulation with ns-3: A systematic literature review. *Electronics*, 2020, vol. 9, no. 2, p. 272.

3. Titov V.V. (2020) [Review of methods for improving the delivery of streaming data in wireless self-organizing networks]. *Priborostroenie v XXI veke-2020. Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva*, pp. 226-233 (in Russ.).

4. Masiukiewicz A. (2019) Throughput comparison between the new HEW 802.11 ax standard and 802.11 n/ac standards in selected distance windows. *International J. of Electronics and Telecommunications*, 2019, vol. 65, no. 1, pp. 79-84.

5. Ravindranath N.S. (2016) Performance Evaluation of IEEE 802.11 ac and 802.11 n using NS3. *Indian J. of Science and Technology*, 2016, vol. 9, no. 26, pp. 1-9.

6. Rochim A.F. (2020) Performance Comparison of Wireless Protocol IEEE 802.11 ax vs 802.11 ac. 2020

International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA). *IEEE*, 2020, pp. 1-5.

7. Kutuzov O.I., Tatarnikova T.M. (2019) [Method of accelerated simulation modeling of network switching nodes]. *Izvestiya vis'shikh uchebnih zavedeniy. Priborostroenie*, 2019, vol. 62, no. 1, pp. 23-31 (in Russ.).

8. Repin D.S., Filaretov G.F., Chervova A.A. (2019) [Study of fractal characteristics of network traffic]. *Informatizaciya obrazovaniya I nauki*, 2019, no. 2, pp. 48-67 (in Russ.).

9. Sharoar Jahan Choyon A. K. M., Chowdhury R. (2020) Performance comparison of free-space optical (FSO) communication link under OOK, BPSK, DPSK, QPSK and 8-PSK modulation formats in the presence of strong atmospheric turbulence. *J. of Optical Communications*, 2020.

10. Borges D. (2019) Low Complexity Millimeter Wave Point-to-point Communication: Interference Assessment of BPSK vs QPSK Decomposition. 2019 Photonics & Electromagnetics Research Symposium-Spring (PIERS-Spring). *IEEE*, 2019, pp. 2376-2384.

11. Fokin G.A., Vladyko A.G. (2021) [Positioning of vehicles with integration of rangefinding, goniometric and inertial measurements in the extended Kalman filter]. *Trudi uchebnih zavedeniy svyazi*, 2021, no. 7 (2), pp. 51-67 (in Russ.).

12. Li B. (2019) Physical-layer security in space information networks: A survey. *IEEE Internet of things J.*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 33-52.

13. Sun X. (2019) Physical layer security in UAV systems: Challenges and opportunities. *IEEE Wireless Communications*, 2019, vol. 26, no. 5, pp. 40-47.

14. Karmakar R., Chattopadhyay S., Chakraborty S. (2017) Impact of IEEE 802.11 n/ac PHY/MAC high throughput enhancements on transport and application protocols. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2017, vol. 19, no. 4, pp. 2050-2091.

15. Khan G.Z. (2016) On the Field Level Loss of a VHT PPDU in a MIMO-OFDM System for a WiFi Direct 802.11 ac WLAN. 2016 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT). *IEEE*, 2016, pp. 164-169.

16. Masiukiewicz A. (2019) Throughput comparison between the new HEW 802.11 ax standard and 802.11 n/ac standards in selected distance windows. *International J. of Electronics and Telecommunications*, 2019, vol. 65, no. 1, pp. 79-84.

17. Glushakov V.E. (2021) [Study of different models of data transmission by two stations in a Wi-Fi network]. *Mezhdunarodniy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, no. 9-1 (111), pp. 17-24 (in Russ.).

18. Shvyrev B. A., Timonov D. A. (2019) [Acoustic information leakage channel by means of visible light modulation]. *Vestnik UrFO*, 2019, vol. 31, no. 1, pp. 11-16.

19. Chen Y.C., Towsley D., Khalili R. (2016) MSPlayer: Multi-source and multi-path video streaming. *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, 2016, vol. 34, no. 8, pp. 2198-2206.

20. Saliba D. (2019) Planning and Profit Sharing in Overlay WiFi and LTE Systems toward 5G Networks. *J. of Software Engineering and Applications*, 2019, vol. 12, pp. 491-508.

Transmission Quality Evaluation of Multistreaming Video Data from the UAV to the Ground Station in Network Simulator 3 Simulation Environment Using Wi-Fi Standards

R.E. Shibanov, Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk

I.A. Kaysina, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

A.V. Abilov, PhD in Engineering, Associate Professor, The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, Russia

K.E. Korepanov, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The article presents the results of transmitting video data simulation in real time from video cameras on board Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to a ground station (GS). The main purpose of the article was to evaluate the impact of the flying source node number on Quality of Service (QoS) metrics, such as Packet Delivery Ratio and Goodput at OSI model application layer.

A scenario was considered when hovering over UAVs, in the zone of reliable communication, transmitted a stream of video data to a ground station, then the distance between the UAV and the GS increased to repeat the experiment. The bitrate was maintained at the same level, close to the bitrate of real high-definition video. The experiment was carried out in the Network Simulator 3 (NS-3) simulation environment for scenarios with one, two, four, and eight source nodes.

Simulation results have shown the negative impact of the increasing the number of flying source nodes on Quality of Service (QoS) metrics such as Packet Delivery Rate (PDR) and Goodput. Recommendations regarding the applicability of different standards of the 802.11 family to scenarios for using UAVs in the multistreaming video data transmission mode are given. A change in the relationship of useful throughput on the number of source nodes by 15 % was also found.

Keywords: UAV, NS-3, Wi-Fi, PDR, Goodput, multistreaming.

Получено 22.02.2023

Образец цитирования

Оценка качества передачи мультиточковых видеоданных с борта беспилотного летательного аппарата к наземной станции в имитационной среде Network Simulator 3 с использованием стандартов Wi-Fi / Р. Э. Шибанов, И. А. Кайсина, А. В. Абилов, К. Э. Корепанов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 1. С. 91–99. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-91-99.

For Citation

Shibanov R.E., Kaysina I.A., Abilov A.V., Korepanov K.E. (2023) [Transmission Quality Evaluation of Multistreaming Video Data from the UAV to the Ground Station in Network Simulator 3 Simulation Environment Using Wi-Fi Standards]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 1, pp. 91-99 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-91-99.