

Моделирование полезной пропускной способности сети БПЛА при мультипоточковой передаче

И.А. Кайсина¹ 

¹Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, 426069, Российская Федерация
*Адрес для переписки: irinakaysina25@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 26.02.2020

Принята к публикации 15.03.2020

Ссылка для цитирования: Кайсина И.А. Моделирование полезной пропускной способности сети БПЛА при мультипоточковой передаче // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 1. С. 100–108. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-1-100-108

Аннотация: В статье рассматривается процесс мультипоточковой передачи данных от нескольких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) к наземной станции. Описана математическая модель процесса передачи данных на уровне приложений модели OSI (от летающих узлов к наземной станции). Характер трафика потоковых данных представлен пакетным процессом Пуассона – Парето. Приведены результаты имитационного моделирования процесса передачи потокового видео с нескольких узлов-источников БПЛА в сетевом симуляторе NS-3. Описана система для проведения эмуляции процесса мультипоточковой передачи данных от БПЛА к наземной станции. По результатам исследований определено, что увеличение числа-узлов источников БПЛА повышает требования к полезной пропускной способности.

Ключевые слова: мультипоточковая передача данных, БПЛА, моделирование, NS-3, пакетный процесс Пуассона – Парето, полезная пропускная способность, эмуляция.

1. Введение

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят все более широкое распространение в повседневной жизни и используются при решении различных задач: мониторинга, обеспечения безопасности, аэрофотосъемки и др. В перечисленных задачах в качестве данных может рассматриваться видеопоток, который передается от узла-источника (БПЛА) к узлу-получателю (наземной станции) с использованием стандартов беспроводной связи. При выполнении миссий в местностях со сложным рельефом (когда отсутствует возможность прямой связи между двумя узлами) становится необходимо введение узла-ретранслятора, который бы смог перенаправлять данные от узла-источника к узлу-получателю. При увеличении количества БПЛА становится целесообразно говорить о рою БПЛА, который может быть реализован как самоорганизующаяся сеть БПЛА (*от англ.*, Flying Ad Hoc Net-work) [1–3]. Самоорганизующиеся сети БПЛА пока не нашли широкого практического применения, но вопрос о ретрансляции данных и использовании роевых технологий является актуальным в последние несколько лет. Рой БПЛА может использоваться при решении

задач в режимах чрезвычайных ситуаций, где основными критериями становятся быстрая и качественная передача данных. Также актуальными являются задачи мониторинга обширных наземных территорий, когда запуск одного БПЛА становится экономически затратным. Рой БПЛА может состоять из нескольких узлов-источников или/и нескольких узлов-ретрансляторов. Перспективными сценариями для изучения можно считать: рой узлов-источников – узел-получатель; рой узлов-источников – узел-ретранслятор – узел-получатель; рой узлов-источников – рой узлов-ретрансляторов – узел-получатель.

Сеть с несколькими узлами-источниками в виде БПЛА ставит новые задачи, связанные с: перегрузкой узлов, приоритизацией трафика [4] и выбора наилучшего маршрута.

В статье описана модель для сценария: рой узлов-источников – узел-получатель. Данный сценарий является самым простым из вышеперечисленных, однако изучение влияния мультипоточкового трафика данных на требования к метрикам качества обслуживания (QoS *от англ.*, Quality of Service) следует начать с этого случая. В работе

исследовано влияние мультипоточковой передачи данных на полезную пропускную способность (*от англ.*, Goodput), которая на уровне приложений отображает количество битов полезной информации, доставленных через сеть за единицу времени [5]. Выбор полезной пропускной способности в качестве параметра оценки связан с тем, что увеличение данной характеристики может вызвать влияние на метрики QoS в виду переполнения буфера на узле-получателе. В работе представлена математическая модель процесса передачи данных на уровне приложений модели OSI от нескольких узлов-источников БПЛА к узлу-получателю (наземной станции). Для описания характера видеотрафика с нескольких узлов-источников был выбран пакетный процесс Пуассона – Парето, в котором частота событий по распределению Пуассона соответствует потокам данных, а продолжительность потока определяется в соответствии с распределением Парето [6, 7]. Оценка влияния мультипоточковой передачи данных на полезную пропускную способность проводилась посредством имитационного моделирования в NS-3. Был написан программный код, в котором была реализована математическая модель процесса передачи данных на уровне OSI, а также использовались готовые модули для пакетного процесса Пуассона – Парето. В программном коде был заложен сценарий для передачи данных с нескольких узлов-источников БПЛА к узлу-получателю. Имитационное моделирование позволило определить влияние количества узлов-источников на полезную пропускную способность. Для разработки новых алгоритмов и методов для работы с буфером на узле-получателе предложена эмуляция.

2. Математическая модель процесса передачи данных на уровне приложений модели OSI от одного источника

Для описания процесса передачи данных с борта БПЛА к наземной станции используются свойства стохастических процессов [8, 9]. При передаче данных от БПЛА к наземной станции возникает случайный процесс, который характеризуется случайным событием – потеря данных при передаче. Вероятность возникновения потерь данных является случайной величиной, которая может изменять свое состояние в дискретные моменты времени. Тогда процесс передачи данных от БПЛА может быть описан как динамическая система. Основной задачей становится определение закономерностей перехода данных из одного состояния в другое, для чего необходимо описать математическую модель процесса передачи данных. Был выбран метод, основанный на использовании уравнений переменных состояния [10–12].

Рассматривается модель, которая состоит из двух узлов: узел-источник – БПЛА, передающий

поточковые данные на наземную станцию и узел-получатель – наземная станция, принимающая поточковые данные от БПЛА. При передаче данных от БПЛА к наземной станции все данные прикладного уровня модели OSI делятся на блоки, которые состоят из X фрагментов данных (рисунок 1). Фрагменты данных представляют из себя часть передаваемых данных одинакового размера на уровне приложений. В рамках статьи не оговаривается содержимое каждого фрагмента данных. Каждый фрагмент данных принимается за элементарную единицу данных, которая передается отдельным сегментом транспортного уровня модели OSI.

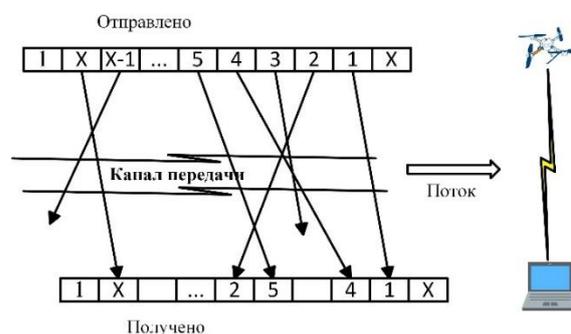


Рис. 1. Процесс передачи блоков данных

Fig. 1. The Process of Transferring Data Blocks

Каждый переданный блок данных может быть представлен в виде вектора данных $\vec{X}(g)$, который в общем случае имеет несколько разрешенных комбинаций. Узел-получатель оценивает поток данных. Идеальным считается случай, когда все фрагменты в блоке распознаются правильно. Оценка вектора $\vec{X}(g)$ реализуется на интервале времени t_k между моментами k (период одного блока), которые вычисляются как $t_k = \frac{x}{v}$, где v – это скорость передачи фрагментов данных (количество передаваемых фрагментов в секунду); k – порядковый номер блока; X – количество фрагментов данных в блоке.

Процесс потери фрагментов данных в дискретном канале прикладного уровня модели OSI можно описать с помощью вектора ошибок $\vec{W}(g)$, который после суммирования с $\vec{X}(g)$ по модулю 2 дает вектор оценки $\vec{Z}(g)$ (рисунок 2). Поскольку фрагмент данных в модели представляется, как двоичный элемент, выдвигается положение, что формат вектора, имеющего поток данных, представлен в виде $\vec{X}(g) = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} = \{1, 1, \dots, 1\}$ и не меняется в течение времени передачи поточковых данных, т. е. не зависит от порядкового номера блока k . Элементы «1» в позиции вектора данных обозначают наличие фрагмента у узла-источника (содержимое не имеет значения) и этот вектор имеет только одну разрешенную комбинацию.

Потери данных в дискретном канале обнаруживаются как преобразование $\vec{X}(g)$ и $\vec{W}(g)$. Следова-

тельно, вектор оценки в качестве примера может быть представлен как:

$$\vec{Z}(g) = \{1, 1, \dots, 1\} \oplus \{1, 0, \dots, 1\},$$

где 2-ой блок был потерян. Следовательно, канал передачи данных с узлом-источником и узлом-получателем может быть описан на основе подхода переменных состояний, который рассмотрен в [9–11] в рамках теории оценки и управления, а именно:

$$\vec{X}_{k+1}(g) = A(k+1, k)\vec{X}_k(g), \quad (1)$$

$$\vec{Z}_{k+1}(g) = \vec{X}_{k+1}(g) \oplus B(k+1, k)\vec{W}_k(g), \quad (2)$$

где $A(k+1, k)$ – переходная матрица вектора данных; $B(k+1, k)$ – переходная матрица потерь данных; \oplus – групповая операция сложения по модулю 2; $k = 0, 1, \dots$ – порядковый номер вектора оценки.

Достоинством этого метода является возможность создания рекуррентных алгоритмов оценки, используемых в имитационном моделировании.

Уравнение (1) описывает поток данных от узла-источника, а уравнение (2) описывает канал прикладного уровня модели OSI с учетом потерь фрагментов данных. На рисунке 3 показана структура модели источника и канала передаваемых данных на прикладном уровне модели OSI.

Для модели определены следующие условия:

- 1) размерность всех векторов X ;
- 2) начальные условия ($k = 0$): $\vec{X}_0(g), \vec{W}_0(g)$.

Например, в рассматриваемом случае согласно (1) модель источника данных выглядит следующим образом:

$$\vec{X}_{k+1}(g) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Модель позволяет в динамике описывать процесс передачи и разрабатывать имитационные модели для компьютерного моделирования [13].

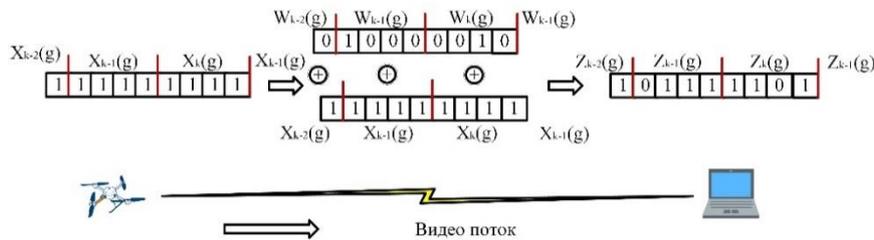


Рис. 2. Воздействие ошибок на передачу блоков данных

Fig. 2. The Effect of Errors on the Transmission of Data Blocks

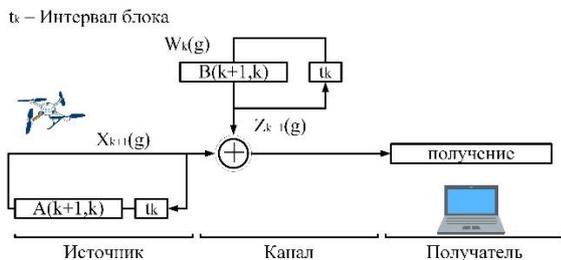


Рис. 3. Модель источника и канала для выполнения имитационного моделирования

Fig. 3. Source and Channel Model for Simulation

3. Математическая модель процесса передачи данных на уровне приложений модели OSI от нескольких источников

Рассмотрим модель передачи данных от нескольких узлов-источников к узлу-получателю. Характер фрагментов данных от узлов-источников к узлу-получателю учитывается в векторе потерь данных. В соответствии с (1, 2) процесс передачи данных от нескольких узлов-источников к узлу-получателю может быть описан с помощью системы уравнений следующим образом:

$$\begin{cases} \vec{X}_{k+1}^1(g) = A^1(k+1, k)\vec{X}_k^1(g) \\ \vec{X}_{k+1}^2(g) = A^2(k+1, k)\vec{X}_k^2(g), \\ \vec{X}_{k+1}^n(g) = A^n(k+1, k)\vec{X}_k^n(g) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \vec{Z}_{k+1}^1(g) = \vec{X}_{k+1}^1(g) \oplus B^1(k+1, k)\vec{W}_k^1(g) \\ \vec{Z}_{k+1}^2(g) = \vec{X}_{k+1}^2(g) \oplus B^2(k+1, k)\vec{W}_k^2(g). \\ \vec{Z}_{k+1}^n(g) = \vec{X}_{k+1}^n(g) \oplus B^n(k+1, k)\vec{W}_k^n(g) \end{cases} \quad (5)$$

Система уравнений (4) описывает передачу потоковых данных от узлов-источников, система уравнений (5) описывает канал от узлов-источников до узла-получателя. Следует учитывать, что при передаче потоковых видео данных от узла-источника к узлу-получателю необходимо задавать номера портов и IP-адреса. Другими словами, необходимо реализовывать работу с сокетами, которых будет несколько на узле-получателе. Блок-схема на рисунке 4 иллюстрирует модель передачи потоковых данных от нескольких узлов-источников к узлу-получателю. Представленная модель процесса передачи данных на уровне приложений модели OSI может найти применение в имитационном моделировании для описания процессов передачи данных по беспроводным каналам связи с ошибками, например, от БПЛА к наземной станции.

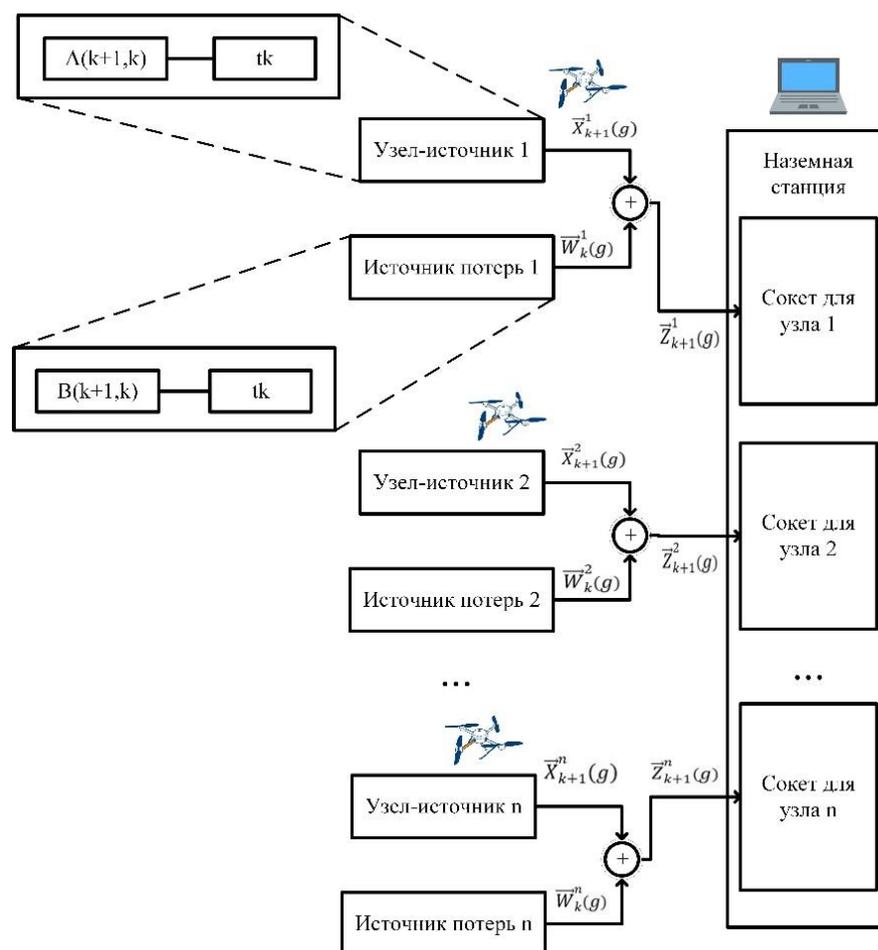


Рис. 4. Блок схема модели процесса передачи данных от нескольких узлов-источников к узлу-получателю

Fig. 4. Block Diagram of the Model of the Process of Data Transfer from Several Source-Nodes to the Destination-Node

4. Модель пакетного процесса

Пуассона – Парето для представления характера видео трафика

Рассматривается передача видео в режиме реального времени. Для моделирования процесса передачи видеоданных с бортов нескольких БПЛА к наземной станции может использоваться пакетный процесс Пуассона – Парето (PPBP, от англ. Poisson Pareto Burst Process), также известный как M/Pareto [14] или M/G/∞ [15]. Процесс может описывать генерацию интернет трафика случайной группы людей или одного пользователя из бесконечно большой группы и является наиболее реалистичной моделью для описания пакетных систем [16]. Пакетный процесс Пуассона – Парето базируется на двух процессах: Пуассона и Парето. В соответствии с процессом Пуассона в моменты времени один из большого числа пользователей начинает передачу данных. Количество потоков данных соответствует частоте событий по распределению Пуассона во временном интервале. В [6] предполагается, что каждый файл может быть передан в течение одного «всплеска», продолжительность этого «всплеска» определяется через распределение Парето.

Следуя [6] через Z^+ , обозначим множество неотрицательных целых чисел, а через R^+ – неотрица-

тельные действительные числа. Рассматривается непрерывный временной процесс $\{B_t: B_t \in Z^+, t \geq 0\}$, который представляет количество активных «всплесков», влияющих на поток трафика данных в момент времени t . В работе [6] определены временные интервалы получения «всплесков» $\{\alpha_i: \alpha_i \in R, i = 0, 1, 2, \dots\}$ и временные интервалы отправления «всплесков» данных $\{\omega_i: \omega_i \in R, i = 0, 1, 2, \dots\}$. Значение B_t увеличивается на единицу в момент времени $t = \alpha_i$ и уменьшается на единицу в момент времени $t = \omega_i$. Определено, что $\omega_i = \alpha_i + d_i$, где $d_i (d_i \in R^+)$ – длительность i -го «всплеска». Значение B_t определяется как:

$$B_t = \sum_{i=0}^{\infty} 1_{t \in [\alpha_i, \omega_i]}. \quad (6)$$

Случайная величина d – продолжительность единичного всплеска, функция распределения которой имеет вид:

$$Pr\{d > x\} = \begin{cases} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{-\gamma}, & x \geq \delta, \\ 1, & x < \delta \end{cases}, \quad (7)$$

где γ – форма распределения Парето; δ – масштаб распределения Парето; x – случайная величина. При $\delta > 0$ и $1 < \gamma < 2$ математическое ожидание E [6]:

$$E(d) = \frac{\delta\gamma}{(\gamma - 1)}. \quad (8)$$

Значение γ связано с параметром Херста H , определенного в [17] следующим образом:

$$H = \frac{3 - \gamma}{2}. \quad (9)$$

Учитывая, что $1 < \gamma < 2$, параметр Херста H принимает значения от 0,5 до 1.

5. Имитационное моделирование процесса передачи потоковых видеоданных с нескольких узлов-источников в сетевом симуляторе NS-3

Для исследования влияния мультиточечной передачи данных от нескольких узлов-источников было проведено имитационное моделирование в сетевом симуляторе NS-3. Был выбран сценарий, который соответствует текущим запросам производственного сектора – обеспечение мониторинга большой наземной территории (завода / ангара). Для проведения мониторинга предложено использование нескольких узлов-источников в виде БПЛА. Данные от узлов-источников концентрируются на узле-шлюзе и передаются к узлу-получателю (рисунок 5). Для проведения моделирования была предложена математическая модель, описывающая процесс передачи от нескольких узлов-источников данных на уровне приложений модели OSI. Для моделирования видеотрафика данных использовался пакетный процесс Пуассона – Парето, который ранее был реализован в среде NS-3 и подробно описан в работе [18].

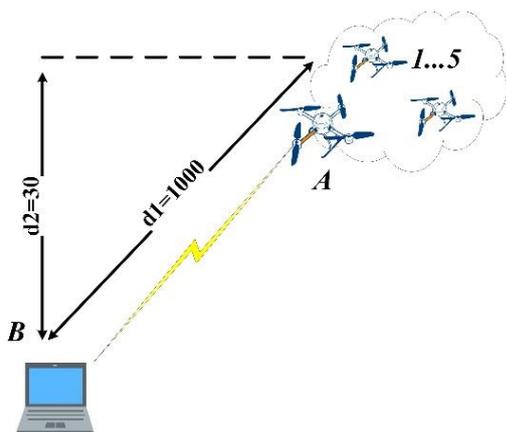


Рис. 5. Сценарий для проведения имитационного моделирования в среде NS-3

Fig. 5. The Scenario for Simulation in the NS-3

При проведении имитационного моделирования, в соответствии с ранее реализованной моделью пакетного процесса Пуассона – Парето, варьировались следующие параметры: число узлов-источников λ , параметр Херста H , продолжительность «всплеска» T_{on} (с). Были заданы ограничения для каждого из вышеперечисленных параметров, так: параметр Херста принимал значения от 0,6 до

0,9; продолжительность «всплеска» была задана от 0,1 до 0,5 с, согласно [18]. Также такая малая продолжительность «всплеска» данных на каждом узле-источнике была обусловлена особенностями выбранного сценария. «Всплески» при передаче видеоданных связаны с резкой сменой кадра, что вызывает большее число отправленных пакетов.

При выполнении задач мониторинга определенной наземной территории «всплеск» может быть вызван попаданием постороннего объекта в поле зрения БПЛА, и он имеет непродолжительный характер. Общее время передачи потоковых видеоданных с нескольких БПЛА к наземной станции равнялось 5 мин. Некоторые из остальных заданных значений параметров моделирования представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Выбранные параметры для имитационного моделирования

TABLE 1. Selected Parameters for Simulation

Наименование параметров	Значения
Мощность передатчика, дБ	25
Ширина полосы частот канала, МГц	40
Несущая частота, Гц	5180
Модель распространения сигнала	FriisPropagationLoss Model
Модуляция	OfdmRate6Mbps
Тип соединения	AdhocWifiMac
Размер пакета, байт	1370
Общее время симуляции, с	3600
Протокол транспортного уровня	UDP

6. Анализ результатов моделирования

Понятие полезной пропускной способности на уровне приложений используется в компьютерных сетях и отображает количество битов полезной информации, доставленных через сеть за единицу времени. Выбор этого параметра был неслучаен и обусловлен использованием математической модели на уровне приложений. Полезная пропускная способность вычислялась по формуле:

$$Goodput = \frac{buf * 1370 * 8}{time}, \quad (10)$$

где buf – число пакетов в буфере на узле-получателе в момент окончания симуляции; 1370 – размер пакета; 8 – число бит в байте; $time$ – время работы приложения, передающего видеоданные.

Были построены зависимости влияния числа узлов-источников на полезную пропускную способность при различных значениях параметра Херста H и различной продолжительности «всплесков». На рисунке 6 представлена зависимость полезной пропускной способности от числа узлов-источников при различных значениях параметра Херста, причем продолжительность «всплеска» была равна 0,1 с.

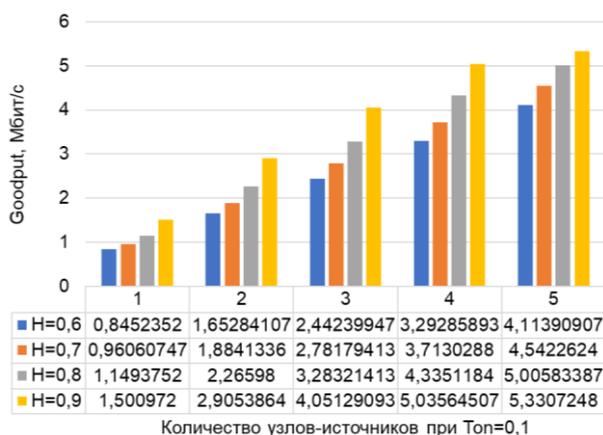


Рис. 6. Зависимость полезной пропускной способности от числа узлов-источников при разных значениях параметра Херста H , продолжительность «всплеска» 0,1 с

Fig. 6. Dependence of the Goodput on the Number of Source-Nodes for Different Values of the Hurst Parameter H , the Duration of the Burst of 0,1 s

Увеличение числа узлов-источников и величины параметра Херста H повышают требования к полезной пропускной способности (см. рисунок 6). Также была построена зависимость полезной пропускной способности от продолжительностей «всплесков» для разного числа узлов-источников (от 1 до 4) при $H = 0,6$ (рисунок 7).

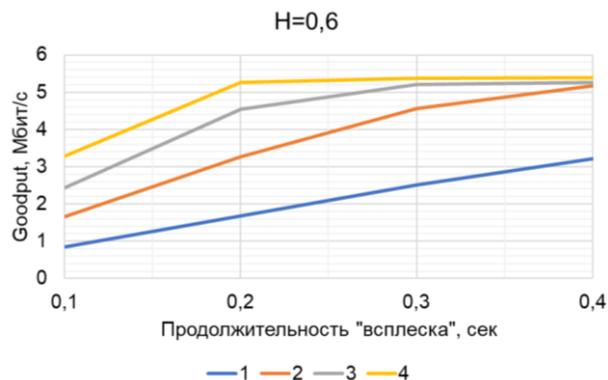


Рис. 7. Зависимости полезной пропускной способности от продолжительностей «всплесков» для разного числа узлов-источников при $H = 0,6$

Fig. 7. Dependencies of the Goodput on the Durations of Bursts for a Different Number of Source-Nodes at $H = 0,6$

Увеличение числа узлов-источников и продолжительности «всплеска» повышает требования к полезной пропускной способности (см. рисунок 7). Это является логичным, так как продолжительный «всплеск» генерирует большее число пакетов и поэтому требует большей полезной пропускной способности.

По результатам проведенного моделирования можно сделать общий вывод, что увеличение числа узлов-источников повышает требования к полезной пропускной способности. Следовательно, будут повышаться требования и к пропускной способности. Ввиду этого, на узле-получателе при мультипоточковой передаче может наблюдаться перегрузка буфера, что будет вызывать потери пакетов, за-

держку и уменьшение коэффициента доставки пакетов.

7. Модель для проведения эмуляции мультипоточковой передачи данных

По результатам проведенного моделирования был сделан вывод, что сеть БПЛА с несколькими узлами-источниками требует разработки новых алгоритмов и методов работы с буфером для улучшения параметров качества обслуживания. В качестве среды разработки и проверки работоспособности новых алгоритмов и методов предложена эмуляция процесса передачи данных между узлами. Применение эмуляции является альтернативным способом организации экспериментов.

Так, для исследования мультипоточковой передачи данных от нескольких БПЛА необходимо использовать множество узлов-источников (БПЛА), а также получать разрешение на проведение эксперимента с ними, что требует значительных временных и материальных затрат. Проведение эмуляции позволяет избежать закупки оборудования и сократить временные затраты. Вместе с этим, работы проходят на виртуальных машинах, которые являются «цифровыми двойниками» микрокомпьютеров Raspberry Pi. Каналы связи между узлами созданы через среду NS-3. Общая модель для проведения эмуляции представлена на рисунке 8.

Если рассматривать архитектуру эмуляции сверху-вниз, сначала идет работа с гостевыми машинами с установленными ОС Ubuntu Mate 16.04 в Virtual Box 5.2. Данная ОС была выбрана исходя из того, что она может использоваться на микрокомпьютерах Raspberry Pi, которые являются частью малых БПЛА. На гостевых машинах можно запустить передачу потоковых видеоданных через приложение VLC (для каждого потока необходимо прописать IP-адрес и номер порта, т. е реализовать работу с сокетами). Каждая машина имеет собственный сетевой стек и связана с сетевыми устройствами. Сетевые устройства подключены к мостам Linux, которые образуют программное соединение с операционной системой основной машины. К каждому из этих мостов также подключен TAP-интерфейс. TAP-интерфейсы доставляют пакеты, переданные приложениями на гостевых машинах в среду имитационного моделирования NS-3, работающую на основной машине. NS-3 может получить доступ к пакетам и, следовательно, моделировать канал связи между гостевыми машинами [19, 20].

Основным отличием эмуляции является моделирование только канала связи между узлами и работа с реальными ОС, что может обеспечивать результаты, наиболее приближенные к экспериментальным.

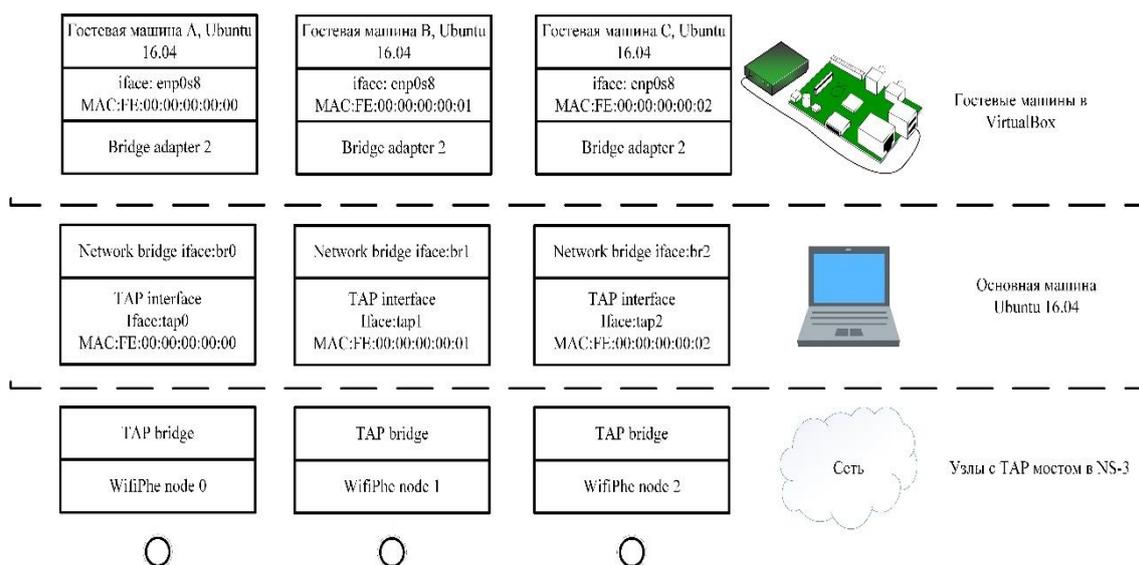


Рис. 8. Модель для проведения эмуляции передачи данных в сетях БПЛА

Fig. 8. A Model for Emulating Data Transmission in UAV Networks

8. Заключение

В работе были представлены две математические модели для описания процесса передачи потоковых данных на уровне приложений модели OSI. В первой модели рассматривался случай передачи потоковых данных с одного узла-источника, во второй модели количество узлов-источников было увеличено до n . Обе модели были реализованы как часть программного кода для проведения имитационного моделирования в сетевом симуляторе NS-3.

Для более реалистичного представления трафика видеоданных был выбран пакетный процесс Пуассона-Парето, который ранее был реализован в NS-3 с помощью нескольких модулей. Программная реализация обоих математических моделей и пакетного процесса Пуассона – Парето использовалась при проведении имитационного моделирования следующего сценария: несколько узлов-источников в виде БПЛА через узел-шлюз передавали потоковые видеоданные на узел-получатель (наземную станцию).

При проведении моделирования изменялись некоторые значения: параметр Херста, число узлов-источников и продолжительность «всплеска» данных. По результатам имитационного моделирования сделан вывод, что увеличение количества узлов-источников и продолжительности «всплеска» повышает требования к полезной пропускной способности. Вследствие увеличения этих требований на узле-получателе может наблюдаться перегрузка буфера, которая будет приводить к потере пакетов и задержкам при передаче видеоданных.

Важной задачей становится разработка новых алгоритмов и методов, способных контролировать загрузку узла-получателя и работать с очередями на буфере. Для реализации новых алгоритмов и методов предложена эмуляция процесса передачи данных. Преимуществом эмуляции является возможность работы с реальными ОС (например, Ubuntu Mate) и моделирование только канала связи через NS-3, что помогает получить результаты, наиболее приближенные к реальным экспериментам.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №19-29-06076).

Список используемых источников

1. Кучерявый А. Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В., Парамонов А.И., Прокопьев А.В., Богданов И.А. и др. Летящие сенсорные сети // Электросвязь. 2014. № 9. С. 2–5.
2. Bekmezci I, Sahingoz O.K., Temel Ş. Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey // Ad Hoc Networks. 2013. Т. 11. Iss. 3. PP. 1254–1270. DOI:10.1016/j.adhoc.2012.12.004
3. Sahingoz O. K. Networking Models in Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): Concepts and Challenges // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2014. Т. 74. Iss. 1–2. PP. 513–527. DOI:10.1007/s10846-013-9959-7
4. Мухизи С., Парамонов А.И. Метод классификации и приоритизации трафика в программно-конфигурируемых сетях // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. №. 1. С. 64–70. DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-1-64-70
5. Newman D. RFC2647: Benchmarking Terminology for Firewall Performance. 1999.
6. Chen J., Addie R.G., Zukerman M., Neame T.D. Performance Evaluation of a Queue Fed by a Poisson Lomax Burst Process // IEEE Communications Letters. 2014. Т. 19. Iss. 3. PP. 367–370. DOI:10.1109/LCOMM.2014.2385083

7. Addie R.G., Neame T.D., Zukerman M. Performance analysis of a Poisson – Pareto queue over the full range of system parameters // *Computer Networks*. 2009. Т. 53. Iss. 7. PP. 1099–1113. DOI:10.1016/j.comnet.2008.12.016
8. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. М: Издательство Радиотехника, 2003. 480 с.
9. Kirichenko L.O., Demerchan K.A., Kayali E., Habachyova A.Y. Modeling telecommunications traffic using stochastic multifractal cascade process // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2012. № 1. DOI:10.15588/1607-3274-2012-1-9
10. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления / Пер. с англ. М.: Наука, 1970. 620 с.
11. Медич Дж. Статистические оптимальные линейные оценки и управление / Пер. с англ. М.: Энергия, 1973. 440 с.
12. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Пер. с англ. М.: Связь, 1976. 495 с.
13. Мелентьев О.Г. Теоретические аспекты передачи данных по каналам с группирующимися ошибками // М.: Горячая линия – Телеком. 2007. 232 с.
14. Neame T.D., Zukerman M., Addie R.G. Application of the M/Pareto process to modeling broadband traffic streams // *Proceedings of the International Conference on Networks (ICON'99, Brisbane, Australia, 28 September–1 October 1999)*. IEEE, 1999. PP. 53–58. DOI:10.1109/ICON.1999.796159
15. Tsybakov B., Georganas N.D. Overflow and losses in a network queue with a self-similar input // *Queueing Systems*. 2000. Т. 35. Iss. 1-4. PP. 201–235. DOI:10.1023/A:1019150312811
16. Zukerman M. Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models // arXiv. 2013. URL: <https://arxiv.org/abs/1307.2968> (дата обращения 24.03.2020)
17. Ложковский А.Г., Ганифаев Р.А. Оценка параметров качества обслуживания самопо-добного трафика энтропийным методом // *Научные труды ОНАС им. А.С. Попова*. 2008. № 1. С. 57–62.
18. Ammar D., Begin T., Guerin-Lassous I. A new tool for generating realistic internet traffic in NS-3 // *Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTOOLS, Barcelona, Spain, 21–25 March 2011)*. ICST, 2011. PP. 81–83. DOI:10.4108/icst.simutools.2011.245548
19. Vasiliev D., Chunaev A., Abilov A., Kaysina I., Meitis D. Application Layer ARQ and Network Coding for QoS Improving in UAV-assisted networks // *Proceedings of the 25th Conference of Open Innovations Association (FRUCT, Helsinki, Finland, 5–8 November 2019)*. IEEE, 2019. PP. 353–360. DOI:10.23919/FRUCT48121.2019.8981502
20. Meitis D., Vasiliev D., Kaysina I., Abilov A., Khvorenkov V. Real time emulation of COPE-like network coding in FANET using ns-3 // *Proceedings of the IVth International Forum. Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications – 2018*. DOI:10.22213/2658-3658-2018-45-50

* * *

A Modeling of the Goodput for Multistreaming Data Transmission in FANET

I. Kaisina¹ 

¹Kalashnikov Izhevsk State Technical University,
Izhevsk, 426069, Russian Federation

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-1-100-108

Received 26th February 2020

Accepted 15th March 2020

For citation: Kaisina I. Modeling Goodput for Data Transmission in FANET. *Proc. of Telecom. Universities*. 2020;6(1): 100–108. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-1-100-108

Abstract: *This paper investigates the process of multi-stream data transmission from several unmanned aerial vehicles (UAV) to a ground station. We can observe a mathematical model of the data transfer process at the application level of the OSI model (from flying nodes to a ground station). The Poisson – Pareto packet process is used to describe the multi-stream data traffic. The results of simulation are obtained using the network simulator NS-3. It is considered a system for emulating the process of multi-stream data transmission from UAV to a ground station. According to the results of studies for multi-stream data transmission it is clear that the increase of the UAV source nodes which simultaneously transmit data to a ground station needs higher requirements for Goodput.*

Keywords: *multi-streaming, FANET, UAV, modeling, NS-3, Poisson – Pareto process, Goodput, emulation.*

References

1. Koucheryavy A.E., Vladyko A.G., Kirichek R.V., Paramonov A.I., Prokopiev A.V., Bogdanov I.A., et al. Flying Sensor Networks. *Elektrosvyaz*. 2014;9:2–5. (in Russ.)
2. Bekmezci I., Sahingoz O.K., Temel Ş. Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey. *Ad Hoc Networks*. 2013;11(3):1254–1270. DOI:10.1016/j.adhoc.2012.12.004
3. Sahingoz O. K. Networking Models in Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): Concepts and Challenges. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2014;74(1–2):513–527. DOI:10.1007/s10846-013-9959-7
4. Muhizi S., Paramonov A. A Traffic Classification and Prioritization Model in Software-Defined Networks. *Proc. of Telecom. Universities*. 2019;5(1):64–70. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2019-5-1-64-70
5. Newman D. *RFC2647: Benchmarking Terminology for Firewall Performance*. 1999.
6. Chen J., Addie R.G., Zukerman M., Neame T.D. Performance Evaluation of a Queue Fed by a Poisson Lomax Burst Process. *IEEE Communications Letters*. 2014;19(3):367–370. DOI:10.1109/LCOMM.2014.2385083
7. Addie R.G., Neame T.D., Zukerman M. Performance analysis of a Poisson – Pareto queue over the full range of system parameters. *Computer Networks*. 2009;53(7):1099–1113. DOI:10.1016/j.comnet.2008.12.016
8. Shelukhin O.I., Tenyakshev A.M., Osin A.V. *Fractal Processes in Telecommunications*. Moscow: Publishing house Radio-tekhnika; 2003.480 p. (in Russ.)
9. Kirichenko L.O., Demerchan K.A., Kayali E., Habachyova A.Y. Modeling telecommunications traffic using stochastic multifractal cascade process. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2012;1. DOI:10.15588/1607-3274-2012-1-9
10. Derusso P.M., Roy R.J., Close C.M. *State variables for engineers*. Moscow: Nauka Publ.; 1970. p.620. (in Russ.)
11. Meditch J.S. *Stochastic optimal linear estimation and control*. Moscow: Energiia Publ.; 1973. p.440. (in Russ.)
12. Sage A.P., Melse J.L. *Estimation Theory with Application to Communication and Control*. N.Y.: McGraw-Hill; 1972. p.495.
13. Melentev O.G. *Theoretical Aspects of Data Transmission over Channels with Grouping Errors*. Goryachaia liniia – Telekom Publ.; 2007. p. 232. (in Russ.)
14. Neame T.D., Zukerman M., Addie R.G. Application of the M/Pareto process to modeling broadband traffic streams. *Proceedings of the International Conference on Networks, ICON'99, 28 September–1 October 1999, Brisbane, Australia*. IEEE; 1999. p.53–58. DOI:10.1109/ICON.1999.796159
15. Tsybakov B., Georganas N.D. Overflow and losses in a network queue with a self-similar input. *Queueing Systems*. 2000;35(1-4):201–235. DOI:10.1023/A:1019150312811
16. *arXiv*. Zukerman M. Introduction to Queueing Theory and Stochastic Teletraffic Models. Available from: <https://arxiv.org/abs/1307.2968> [Access 24th March 2020]
17. Loshkovsky A.G., Ganifaev R.A. Rating of QoS Parameters of Self-Similar Traffic by an Entropy Method. *Nauchnye trudy ONAS im A S Popova*; 2008;1: 57–62 (in Russ.)
18. Ammar D., Begin T., Guerin-Lassous I. A new tool for generating realistic internet traffic in NS-3. *Proceedings of the 4th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, SIMUTOOLS, 21–25 March 2011, Barcelona, Spain*. ICST; 2011. p.81–83. DOI:10.4108/icst.simutools.2011.245548
19. Vasiliev D., Chunaev A., Abilov A., Kaysina I., Meitis D. Application Layer ARQ and Network Coding for QoS Improving in UAV-assisted networks. *Proceedings of the 25th Conference of Open Innovations Association, FRUCT, 5–8 November 2019, Helsinki, Finland*. IEEE; 2019. p.353–360. DOI:10.23919/FRUCT48121.2019.8981502
20. Meitis D., Vasiliev D., Kaysina I., Abilov A., Khvorenkov V. Real time emulation of COPE-like network coding in FANET using ns-3. *Proceedings of the IVth International Forum. Instrumentation Engineering, Electronics and Telecommunications – 2018*. DOI:10.22213/2658-3658-2018-45-50

Сведения об авторах:

Кайсина
Ирина Алексеевна

аспирант кафедры «Радиотехника» Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова, irinakaysina25@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-7993-1083>