

Belsky K.A., Slipenchuk K.S.

The technology of orthogonal frequency OFDM multiplexing is hosed on for motion of multi frequency signal. The block of consistent information symbols converts in block of parallel symbols; in which every information symbol satisfy certain frequency of the multi frequency signal. Increasing the spectral efficiency of the OFDM system will facilitate the development of advanced mobile networks.

Keywords: the spectral efficiency, the OFDM modulation, the QAM modulation, the memory channel.

Бельский Кирилл Александрович, магистрант Кафедры мультисервисных сетей и информационной безопасности (МСИБ) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-927-201-92-79. E-mail: masterjeedi@gmail.com

Слипенчук Кристина Сергеевна, аспирант Кафедры МСИБ ПГУТИ. Тел. (8-846) 333-32-04. Email: slipenchuk-ks@psuti.ru

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 621.396.67

ПОСТРОЕНИЕ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ТРАФИКА

Линец Г.И., Фомин Л.А., Говорова С.В., Меденец В.В.

Для построения мультисервисных сетей предлагается использование модели СМО типа $M/M/n/m$ и достижение инвариантности сети к структуре обрабатываемого трафика за счет его преобразования и использования свойства инвариантности формы дифференциала вероятности и независимости переменных.

Ключевые слова: управление, случайный процесс, самоподобный поток пакетов, функциональные преобразования, мультисервисная сеть, преобразование трафика.

Введение

Основу конкурентоспособности сетей связи составляет стабильное качество обслуживания пользователей. Под качеством услуг связи понимается суммарный эффект от параметров обслуживания, который определяет степень удовлетворения пользователей услугами связи (рекомендация E.800 МСЭ). В связи с созданием сетей нового поколения (NGN) на первое место выходит принцип отделения функций образования служб/услуг от транспортных функций. По сути, речь идет об интегрированных мультисервисных широкополосных услугах и методологий предоставления гарантированного качества услуг (SLA). Здесь под широкополосностью понимается возможность гибкого и динамического изменения скорости передачи информации в

широком диапазоне в зависимости от текущих потребностей пользователя, а мультисервисность означает независимость технологий предоставления услуг от транспортных технологий. Все сказанное относится не к сети, а к службе, сеть же может обеспечить только услугу транспортировки сообщений.

Мультисервисная сеть (МСС) – это инфраструктура, использующая единый канал для передачи данных разных типов трафика. Она позволяет уменьшить разнообразие типов оборудования, применять единые стандарты и единую кабельную систему, централизованно управлять коммуникационной средой для предоставления наиболее полного спектра услуг.

Постановка задачи

На основании вышеизложенного сформулируем ряд требований, которым должна отвечать идеальная МСС. Такая сеть должна:

- эффективно использовать сетевые ресурсы;
- обеспечивать высокое качество обслуживания мультимедийного трафика;
- быть инвариантной к структуре трафика.

Наиболее полно такая сеть может быть реализована на основе использования системы массового обслуживания (СМО) общего вида $M/M/n/m$. Эта модель СМО достаточно хорошо разработана и позволяет решить задачу эффективного ис-

пользования сетевых ресурсов в конечном виде. Кроме того, она позволяет оценить основные качественные показатели сети, такие как минимальное среднее время задержки сообщений и вероятность отказа в их обслуживании. Однако данная модель изначально предназначена для обработки пуассоновских потоков информации с экспоненциальным временем обслуживания.

Для того чтобы данная модель СМО полностью удовлетворяла изложенным выше требованиям, в основу создания инвариантной системы к различным структурам трафика может быть использован метод функциональных преобразований, основанный на свойствах инвариантности формы дифференциала вероятности и независимости переменных [1]. Данный метод позволяет адаптировать произвольный входной трафик к пуассоновской модели сети связи. Таким образом, требуется решить задачу инвариантности МСС к структуре входного трафика на основе его функциональных преобразований в узлах коммутации и представления сети СМО наиболее общего вида $M/M/n/m$.

Модель экспоненциальной сети

Каждое i -ое звено транспортной сети моделируется в виде СМО типа $M/M/n/m$ [2] с ограниченной очередью (n -канальная СМО с ожиданием), на которую поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью λ_i , интенсивностью обслуживания μ_i и числом мест в очереди для i -го звена m_i . Среднее число занятых каналов z_i и среднее число заявок, находящихся в очереди r_i для каждого звена сети определяются уравнениями [2]:

$$z_i = \rho_i \left(1 - \frac{(n\chi_i)^{n+m}}{n_i^{m_i} \cdot n_i!} \cdot P_0 \right), \quad (1)$$

$$r_i = \frac{(n_i\chi_i)^{n_i+1}}{n_i n_i!} P_{0i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{\alpha-1}, \quad (2)$$

где: ρ_i – степень загрузки канала i -го звена; $\chi_i = \rho_i / n_i$ – эффективность использования канала; P_{0i} – вероятность того, что каналы i -го звена свободны. Для всей сети вероятность того, что каналы свободны, равна [2]:

$$P_0 = \left[\sum_{\alpha=0}^n \frac{(n\chi)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n\chi)^n}{n!} \sum_{\alpha=1}^m \chi^\alpha \right]^{-1}.$$

Среднее число заявок \bar{w}_i в в звене СМО определяется суммой выражений (1) и (2) на входе в каждый канал СМО [2]

$$\bar{w}_i = n_i \chi_i \left(1 - \frac{(n_i \chi_i)^{n_i+m_i}}{n_i^{m_i} n_i!} P_{0i} \right) + \frac{(n_i \chi_i)^{n_i+1}}{n_i n_i!} P_{0i} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{\alpha-1}. \quad (3)$$

Вероятность отказа в обслуживании, когда все каналы и места в очереди заняты, согласно [2-3], равна

$$P_{омкi} = \frac{(n_i \chi_i)^{n_i+m_i}}{n_i! n_i^{m_i}} P_{0i}. \quad (4)$$

Выразим P_{0i} из (4) и получим

$$P_{0i} = \frac{n_i! n_i^{m_i}}{(n_i \chi_i)^{n_i+m_i}} P_{омкi}. \quad (5)$$

Зафиксируем вероятность отказа на некотором допустимом уровне

$$P_{i_омк} = P_{i_омк}^{дон} \quad (6)$$

и, подставив (5) в (3), получим среднее число заявок в СМО:

$$\bar{w}_i = n_i \chi_i \left(1 - P_{омкi} \right) + P_{омкi} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)}. \quad (7)$$

Такая подстановка позволила упростить функционал оптимизации. На основании формулы Литгла и с учетом гипотезы Клейнрока о независимости запишем [2]:

$$\gamma \bar{T}_{зад} = \sum_{i=1}^k \bar{w}_i,$$

где γ – общий трафик сети, $\bar{T}_{зад}$ – средняя задержка пакетов.

Условие (7) с учетом допущения (6) позволяет определить такой важный качественный показатель сети, как среднее время задержки пакетов:

$$\bar{T}_{зад} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \left[P_{i_омк} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha)} + n_i \chi_i \left(1 - P_{i_омк} \right) \right]. \quad (8)$$

В силу сепарабельности функции (8) запишем [2]:

$$\frac{\partial T_{зад}}{\partial \chi_i} = \frac{d \bar{w}_i}{d \chi_i} = 0. \quad (9)$$

Вычисление производных (9) приводит к системе n уравнений вида:

$$\sum_{\alpha=1}^{m_i} (m_i - \alpha) \alpha \chi_i^{-(m_i-\alpha-1)} = n_i \frac{(1 - P_{i_омк}^{дон})}{P_{i_омк}^{дон}}.$$

Однако по условиям задачи приемлемыми значениями ${}^{np}\chi^{onm}$ являются только те, которые расположены на поверхности, определяемой уравнением [2]

$$\frac{(n_i \chi_i)^{n+m}}{n_i! n_i^{m_i}} \left[\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{(n_i \chi_i)^\alpha}{\alpha!} + \frac{(n_i \chi_i)^{n_i}}{n_i!} \sum_{\alpha=1}^{m_i} \chi_i^\alpha \right]^{-1} = P_{i\text{отк}}^{\text{дон}}. \quad (10)$$

Преобразуем (10) и приведем его к виду

$$1 + \frac{1}{n_i} \sum_{\alpha=1}^{m_i-1} (m_i - \alpha) \alpha \chi_i^{-(m-\alpha+1)} = P_{i\text{отк}}^{\text{дон}}. \quad (11)$$

Учитывая, что правые части выражений (10) и (11) равны, получим:

$$\sum_{\alpha=0}^{n_i} \frac{n_i!}{\alpha!} (n_i \chi_i)^{-(n_i-\alpha)} = \sum_{\alpha=1}^{m_i-1} \left(\frac{\alpha(m_i - \alpha)}{n_i \chi_i} - 1 \right) \chi_i^\alpha. \quad (12)$$

Уравнение (12) справедливо для любого звена изотропной сети, в которой χ не зависит от направления передачи, то есть [2]:

$$\sum_{\alpha=0}^n \frac{n!}{\alpha!} (n\chi)^{-(n-\alpha)} = \sum_{\alpha=1}^{m-1} \left(\frac{\alpha(m-\alpha)}{n\chi} - 1 \right) \chi^\alpha. \quad (13)$$

Определим корни уравнения (13), изменяющиеся в пределах $0 \leq \chi < 1$, как приемлемые значения степени загрузки каналов χ_{np}^{opt} . Исследования показали, что получить точное аналитическое решение (13) не представляется возможным ввиду его трансцендентности, но они могут быть решены численными методами. Численный метод решения реализован с помощью программы Mathcad. Определены зависимости оптимальных значений $T_{\text{зад}}^{\text{min}}$ и $P_{\text{отк}}^{\text{max}}$ от сочетаний числа каналов n и количества мест в буфере m . Определив значения χ_{np}^{opt} и величину суммарного потока на входе i -го звена (заданного матрицей нагрузок на линии связи сети ограниченной связности произвольной топологии – см., например, в [4]), можно найти необходимое число каналов передачи i -го звена и их пропускную способность, исходя из соотношения:

$$\chi_{i\text{ np}}^{\text{opt}} = \frac{\lambda_i}{n_i \cdot \mu_i} = \frac{L \cdot \lambda_i}{n_i \cdot L \cdot \mu_i} = \frac{F_i}{V_i \cdot n_i}, \quad (14)$$

где $F_i = L \cdot \lambda_i$ – суммарный поток на входе i -го звена; $V_i = L \cdot \mu_i$ – пропускная способность каждого из n_i – каналов. Для изотропной сети, в которой нагрузка каналов во всей сети остается постоянной и не зависит от направления передачи (не зависит от i), выражение (14) принимает вид:

$$\chi_{np}^{\text{opt}} = \frac{F_i}{V_i \cdot n_i} = f(n, m).$$

Преобразование произвольного закона распределения интервалов времени между пакетами в пуассоновский закон

Пусть непрерывная случайная величина τ_1 с плотностью распределения $f(\tau_1)$ подвергается функциональному преобразованию $\tau_2 = \phi(\tau_1)$. Поскольку при этих условиях выполняется свойство инвариантности дифференциала вероятности, то вероятности этих двух событий равны [1]

$$g(\tau_2) d\beta\tau_2 = f(\tau_1) d\tau_1. \quad (15)$$

Необходимо выбрать такую функцию ϕ , которая в результате преобразования позволила бы получить экспоненциальный закон распределения $g(\tau_2) = \lambda \exp(-\lambda\tau_2)$, где τ_2 – длительность интервала времени между пакетами. Функция распределения при этом согласно [1] равна $G(\tau_2) = 1 - e^{-\lambda\tau_2}$. На основании свойства (15) получим

$$f(\tau_1) = g(\tau_2) \frac{d\tau_2}{d\tau_1}; \quad \tau_2 = -\frac{1}{\lambda} \ln[1 - F(\tau_1)].$$

Структурная схема устройства для преобразования входного трафика показана на рис. 1. Устройство содержит входную шину 1; логические элементы «И» 2-3 и 9-10; счетный триггер счетчики 4-5; выходной элемент «ИЛИ» 6; элементы буферной памяти 7-8; выходную шину 11 и вычислительное устройство 12.

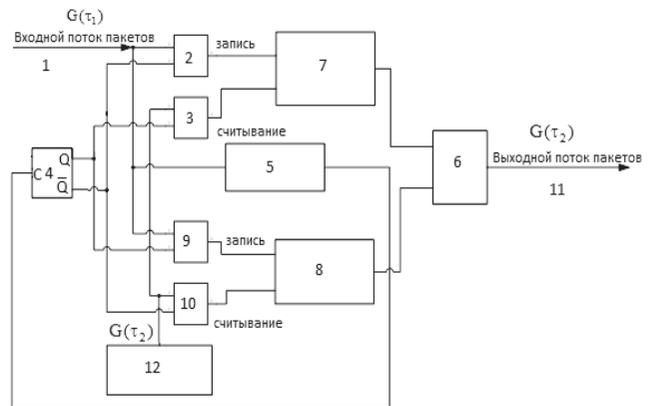


Рис. 1. Преобразование потока пакетов $G(\tau_1)$ в поток $G(\tau_2)$

Пример

Покажем возможность преобразования входного потока пакетов $G(\tau_1)$, имеющего плотность

распределения интервалов времени между пакетами по закону Парето, в пуассоновский поток, используя подход, реализованный в устройстве рис. 1. Предполагается, что преобразование трафика носит циклический характер, эффективность процесса преобразования определяется степенью точности стыковки элементов циклов между собой.

Длительность каждого цикла t_j^u определяется временем накопления фиксированного числа пакетов m_1 в счетчике 5. Поскольку закон преобразования трафика имеет случайный характер, получим:

$$t_j^u = \sum_{m_j}^{m_1(j+1)} R_i, \tag{16}$$

где R_i – последовательность пакетов, интервалы времени между которыми полностью определяют статистические свойства входного трафика $G(\tau_1)$. Эта последовательность приведена на рис. 2 для распределения интервалов времени между пакетами по закону Парето, при $m_1 = 100$. Она формируется с помощью специальной программы, как выборка случайных величин с распределением интервалов времени между пакетами по закону Парето, обладающего заведомо самоподобными свойствами, интегральная функция распределения которого имеет вид[1]:

$$F(\tau_1) = 1 - \left(\frac{\kappa}{\tau_1} \right)^a,$$

где κ – нижний граничный параметр, a – коэффициент формы.

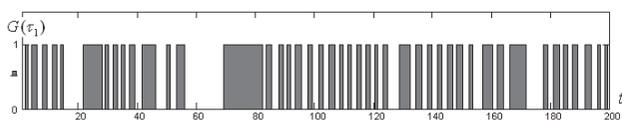


Рис.2. Входная последовательность пакетов $G(\tau_1)$

Для генерирования случайных величин с распределением Парето необходимо найти обратную функцию от интегральной функции распределения [1]

$$\tau_1 = \frac{\kappa}{(1 - rnd(1))^{\frac{1}{a}}}, \tag{17}$$

где $rnd(1)$ – случайная переменная, равномерно распределенная на интервале $[0; 1]$. В последовательности рис. 2 пакеты располагаются во всех точках опрокидывания процесса R_i . Длитель-

ность циклов записи процесса $G(\tau_1)$, построенных по формуле (16), приведена рис. 3.

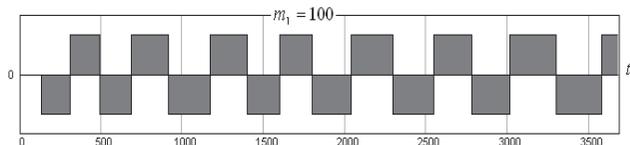


Рис. 3. Длительность циклов, записанных в элементах буферной памяти емкостью $m_1 = 10^2$

В отрицательной области рис. 3 показан процесс записи в элемент буферной памяти 7, а в положительной области – в элемент буферной памяти 8 рис. 1. На рис.3 показано 15 полных циклов записи процесса $G(\tau_1)$. Считывание из элементов буферной памяти осуществляется аналогично, но в качестве управляющей последовательности используется последовательность пакетов $G(\tau_2)$, формируемая вычислительным устройством 12 рис. 1. При использовании данного устройства в экспоненциальных сетях предполагается применение пуассоновского закона, имеющего экспоненциальное распределение интервалов времени между пакетами $F(\tau_2) = 1 - \exp(-\lambda \tau_2)$, где λ – управляемая интенсивность потока пакетов.

Генерируемая вычислительным устройством 12 (см. рис. 1) последовательность пакетов $G(\tau_2)$ представлена на рис. 4, интервалы времени между пакетами равны

$$\tau_2 = -\frac{1}{\lambda} \ln(1 - rnd(1)). \tag{18}$$

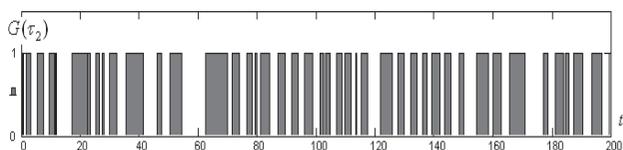


Рис. 4. Последовательность пакетов $G(\tau_2)$

При этом длительность циклов (см. рис. 5) по-прежнему описывается формулой (16), в которой интервалы времени между пакетами равны $R_i = \tau_2$.

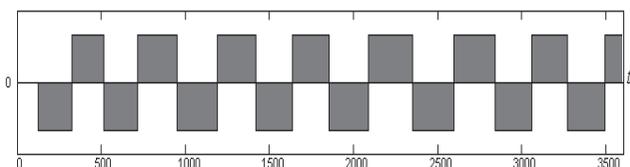


Рис. 5. Длительность циклов, считываемых из элементов буферной памяти

Связь между параметрами a (входной график, закон Парето) и λ (выходной график, пуассоновский закон) в (17)-(18) показана на рис. 6.

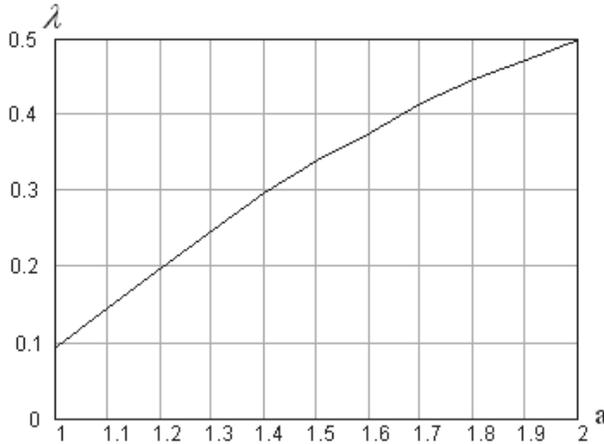


Рис. 6. Связь между параметрами a и λ

Параметры процессов, формируемые в устройстве преобразования графика, соответственно для закона Парето и экспоненциального закона, приведены ниже. Формирование потоков пакетов $G(\tau_1)$ – см. рис. 2 и $G(\tau_2)$ – см. рис. 4 соответствует

$$R(\tau_1) = \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(N); \\ t_i \leftarrow \frac{1}{(1 - N_i)^{\frac{1}{3-2H}}}, H = 0,7; \\ t, \end{cases}$$

$$R(\tau_2) = \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots \text{last}(N); \\ t_i \leftarrow \frac{-1}{\lambda} \ln(1 - N_i), \lambda = 0,37534; \\ t. \end{cases}$$

Объединение потока пакетов $G(\tau_1)$ – см. рис. 3 и $G(\tau_2)$ – см. рис. 5 в циклы, содержащие 10^2 пакетов, соответствует

$$L(\tau_1) = \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots 99; \\ T_j \leftarrow \sum_{i=100j}^{100(j+1)} R(\tau_1)_i; \\ T, \end{cases}$$

$$L(\tau_2) = \begin{cases} \text{for } i \in 0 \dots 99; \\ T_j \leftarrow \sum_{i=100j}^{100(j+1)} R(\tau_2)_i; \\ T. \end{cases}$$

Определение математического ожидания потока пакетов $G(\tau_1)$ рис. 3 и $G(\tau_2)$ рис. 5:

$$M(\tau_1) = \frac{\sum_{i=0}^{99} L_i(\tau_1)}{99}; \quad M(\tau_1) = 269,743;$$

$$M(\tau_2) = \frac{\sum_{i=0}^{99} L_i(\tau_2)}{99}; \quad M(\tau_2) = 269,743.$$

Определение дисперсии потока пакетов $G(\tau_1)$ рис. 3 и $G(\tau_2)$ рис. 5:

$$D(\tau_1) = \frac{\sum_{i=0}^{99} (L_i(\tau_1) - M(\tau_1))^2}{99}; \quad D(\tau_1) = 6,317 \cdot 10^3;$$

$$D(\tau_2) = \frac{\sum_{i=0}^{99} (L_i(\tau_2) - M(\tau_2))^2}{99}; \quad D(\tau_2) = 943,063.$$

Определение джиттера задержки потока пакетов $G(\tau_1)$ рис. 3 и $G(\tau_2)$ рис. 5:

$$D(\tau_1) = 79,48; \quad D(\tau_2) = 30,71.$$

Протяженность процессов различных по своей природе удалось сопоставить между собой по величине математического ожидания. Здесь основным управляющим показателем является интенсивность λ пуассоновского закона, сопоставляемого с коэффициентом формы a закона Парето.

Джиттер задержки характеризует степень отличия исследуемых процессов в моменты переопределения счетчика 5 рис. 1 и может составлять 10 ... 15% в сравнении с математическим ожиданием, он характеризует качество функционирования предлагаемого устройства.

Заключение

В статье предложена структурная схема рис. 1, позволяющая достигнуть инвариантности входного трафика за счет использования функциональных преобразований и свойств экспоненциальных сетей, в которых в качестве модели информационного обмена используется СМО $M/M/n/m$. Для данной СМО получены аналитические зависимости, позволяющие оптимизировать среднюю задержку, вероятность отказа в обслуживании пакетов в зависимости от числа каналов и количества мест в буферной памяти, а также выбрать оптимальные приемлемые коэффициенты загрузки каналов, характеризующие эффективность функционирования сети. Мультимедийные технологии» Том 12, № 4, 2014

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

Литература

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

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

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

BUILDING MULTI-NETWORKS BASED ON FUNCTIONAL TRANSFORMATIONS TRAFFIC

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

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

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

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

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

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

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

УДК 621.391

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

Абилов А.В., Васильев Д.С.

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

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

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

Введение

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