

ЕЛЕКТРОНІКА, РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

DOI: 10.20535/1810-0546.2018.5.146317

УДК 621.391

І.В. Стрелковська, І.М. Соловська*, А.О. Макоганюк

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ЕКСТРЕМУМ СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ЗАТРИМКИ ПАКЕТІВ У САМОПОДІБНОМУ ТРАФІКУ ЗА РОЗПОДІЛОМ ВЕЙБУЛА

Проблематика. Розвиток мереж post-NGN зумовлює зростання номенклатури високошвидкісних послуг, які потребують значної пропускної здатності й достатньо критичні до часових затримок. Це визначає значні зміни в структурі трафіка і потребує розв'язання задач оцінки характеристик якості QoS при обслуговуванні трафіку в мережі post-NGN. При цьому можливо знайти необхідний обсяг мережних ресурсів для їх підтримки при максимальній і збалансованій завантаженості ресурсів мережі.

Мета дослідження. Головним завданням роботи є дослідження на екстремум деяких характеристик якості QoS обслуговування самоподібного трафіку, який описується за допомогою розподілу Вейбула.

Методика реалізації. Оцінку значення середнього часу затримки пакетів самоподібного трафіку для системи масового обслуговування (СМО) $W_B/M/1/\infty$ з використанням двопараметричного розподілу Вейбула та пошук найбільшого і найменшого значень середнього часу затримки пакетів виконано за різних умов функціонування системи масового обслуговування та різних значень інтенсивностей обслуговування пакетів і параметра Херста.

Результати дослідження. Встановлено значення середнього часу очікування W пакетів у СМО $W_B/M/1/\infty$ для різних значень інтенсивностей обслуговування пакетів $\mu \in [0;5,0]$ та отримано залежність середнього часу очікування W пакетів у СМО $W_B/M/1/\infty$ від параметра α , який визначає форму кривої розподілу Вейбула. Встановлено, що зі збільшенням параметра Херста значення середнього часу очікування W пакетів збільшується. Це визначає, що збільшення частки високошвидкісних послуг (Video Surveillance, smart-TV, HD-відео) потребує збільшення розміру буферних пристроїв для забезпечення необхідної продуктивності вузлів мережі post-NGN.

Висновки. Отримані результати дають змогу при проектуванні об'єктів мережі post-NGN враховувати особливості побудови та структуру вузлів мережі в умовах реальних процесів їх функціонування та надають можливості задавати границі мережних характеристик, у яких буде забезпечена необхідна якість обслуговування QoS. Також результати дослідження дадуть змогу при обслуговуванні самоподібного трафіку в мережі post-NGN заданої структури забезпечити необхідну продуктивність мережних вузлів і, відповідно, розмір буферних пристроїв.

Ключові слова: самоподібний трафік; система масового обслуговування; якість обслуговування QoS; розподіл Вейбула; час затримки пакетів.

Вступ

Сформована нині тенденція переходу до мереж майбутнього покоління FGN (Future Generation Network) або мереж post-NGN (Next Generation Network) передбачає активний технологічний розвиток існуючих мереж NGN для реалізації можливостей підтримки міжмашинних комунікацій M2M (Machine-to-Machine) мережі Інтернету речей IoT (Internet of Things). Це насамперед розвиток технологій широкосмугового радіодоступу Wi-Fi (IEEE 802.11n/ac/ad), технологій ZigBee (IEEE 802.15.4-2006), LTE/LTE-Advanced та впровадження різних мережних архітектур AdHoc/Mash, які засновані на самоорганізації та використанні технологій віртуалізації, в тому числі хмарних [1–3].

Все це приводить до зміни структури трафіку в мережах post-NGN, адже пов'язане зі значним розширенням номенклатури послуг, що надаються, серед яких здебільшого використовуються послуги високошвидкісних даних, послуги передачі відеозображень (YouTube, Video Surveillance, smart-TV, HD-відео, 3D-відео), які потребують значної пропускної здатності та досить критичні до часових затримок пакетів. Крім того, важливою складовою номенклатури послуг мереж post-NGN є послуги міжмашинної взаємодії M2M (IoT-cameras, smart-M2M objects, IoT-telematra, датчики охоронної та пожежної сигналізації, медичної інформації та фітнес-трекери) мережі Інтернету речей IoT. Трафік, який генерується додатками IoT, має різні характеристики залежно від виду послуг;

* corresponding author: i.solovskaya@onat.edu.ua

іноді це низькошвидкісна передача даних, критичних до часових затримок, а іноді передача відео в реальному масштабі часу [1].

Все зазначене вище свідчить про необхідність вирішення проблеми, пов'язаної з оцінкою характеристик якості QoS (Quality of Service) при обслуговуванні трафіку в мережі post-NGN, та визначення необхідного обсягу мережних ресурсів, необхідного для їх підтримки. При цьому важливо враховувати як наявність у мережі значної кількості технологій і протоколів, так і значну складність топологічної структури мережі post-NGN.

Розвиток мереж майбутнього покоління post-NGN, їх впровадження і подальша експлуатація пов'язані з розв'язанням задачі дослідження на екстремум деяких характеристик якості QoS обслуговування трафіку, до яких відносяться значення: середнього часу затримки пакетів, пропускну здатності мережних об'єктів, ймовірностей втрат пакетів тощо. Розв'язання цієї задачі полягає в забезпеченні необхідних характеристик якості обслуговування QoS пакетного трафіку при максимальному і збалансованому завантаженні ресурсів мережі.

Відомо [4–6], що пакетний трафік, який обслуговується в мережі post-NGN, має особливу структуру і самоподібний характер, основною причиною якого є наявність довгострокової залежності між моментами надходження пакетів. Для опису самоподібного трафіку, враховуючи, що моменти надходження пакетів мають розподіли з “важкими хвостами”, найчастіше використовують розподіли Парето, Вейбула або логнормальний. Самоподібний трафік значно ускладнює умови функціонування апаратно-програмних засобів мережі, які його обслуговують. Це викликано тим, що надходження пакетів і паузи між ними можливі на значних часових інтервалах, тому при обслуговуванні пакетного трафіку завжди створюються умови різкого перевантаження мережних об'єктів, які чергуються з періодами простою.

На етапі проектування мережі, коли виконується вибір структури мережі та продуктивності мережних вузлів, особливу увагу приділяють процедурам буферизації. Як правило, розмір буфера завжди трохи завищений з метою обслуговування можливих сплесків надходження пакетів. Однак збільшення розміру буферних пристроїв часто призводить до збільшення довжини пакетної черги і, відповідно, до збільшення часу затримки пакетів у цілому. Результати дослідження дають змогу при об-

слуговуванні самоподібного трафіку в мережі post-NGN заданої структури забезпечити необхідну продуктивність мережних вузлів і, відповідно, розмір буферних пристроїв.

Питання дослідження на екстремум деяких характеристик якості QoS обслуговування самоподібного трафіку з огляду на зазначене вище є актуальним. Особливий інтерес полягає в отриманні результатів дослідження на екстремум характеристик якості QoS для трафіку, який описується різними видами розподілів. Тому ставиться задача підтримки необхідних значень характеристик QoS за умови укавання границі мережних характеристик, у межах якої буде забезпечений необхідний рівень обслуговування QoS.

Такі задачі розглядалися раніше авторами в роботах [5, 6]. У [5] авторами розглянуто розв'язання задачі оптимізації характеристик трафіку за критерієм мінімуму середнього часу затримки для самоподібного трафіку, що обслуговується системою масового обслуговування (СМО) $M/M/1/m$ з описом потоку викликів, який надходить експоненціальним розподілом. У цьому випадку отримані результати показали, що для мінімального значення часу затримки пакетів завантаженість каналів збільшується, а обсяг буферної пам'яті у вузлах комутації знижується. Однак використання експоненціального розподілу, що описує самоподібний трафік, часто не дає змоги із заданою точністю отримати необхідні для оптимізації характеристики якості QoS. У праці [6] оптимізація характеристик розглянута для трафіку, описуваного розподілом Парето. При цьому спостерігається нестійкість знайдених рішень залежно від вибраних початкових рівнів оптимізації, що свідчить про некоректність математичної постановки задачі оптимізації, зростання численних помилок і вимагає розгляду за допомогою інших методів оптимізації. Авторами в роботі [7] розглянуті питання оптимізації характеристик самоподібного трафіку. У цій роботі будемо розглядати самоподібний трафік, описуваний розподілом Вейбула, який характерний, у тому числі, і для трафіку високошвидкісних даних та мови.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження на екстремум деяких характеристик якості QoS обслуговування самоподібного трафіку, описуваного за допомогою розподілу Вейбула.

Дослідження на екстремум характеристик якості QoS самоподібного трафіку, який описується розподілом Вейбула

Розглянемо систему масового обслуговування типу $W_B/M/1/\infty$, яка обслуговує потік пакетів, проміжки між надходженнями яких описані розподілом Вейбула W_B , час обслуговування має експоненціальний розподіл M , СМО – однолінійна [4].

У працях [7, 8] для знаходження характеристик якості QoS був запропонований такий підхід. Розглянемо розподіл Вейбула, заданий диференціальною функцією розподілу:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\beta^{-\alpha}x^\alpha}, & x \geq 0, \\ 0, & x \leq 0, \end{cases}$$

де α – параметр форми кривої розподілу, $0 < \alpha < 1$; $\alpha = 2 - 2H$, H – параметр Херста,

$0,5 \leq H < 1$, $\beta = \left[\lambda \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right) \right]^\alpha$ – параметр розподілу, $\beta > 0$, λ – інтенсивність надходження пакетів на обслуговування в СМО, $\Gamma(k)$ – гама-функція Ейлера вигляду $\Gamma(k) = \int_0^{+\infty} t^{k-1} e^{-t} dt$.

З [9] відомо, що для СМО $W_B/M/1/\infty$ імовірність того, що пакет, який надійшов, застане в СМО n пакетів на обслуговуванні, визначається як

$$r_n = (1 - \sigma)\sigma^n, \quad 0 \leq \sigma < 1,$$

де σ – корінь рівняння,

$$\sigma = F(\mu - \mu\sigma), \quad 0 \leq \sigma < 1, \quad (1)$$

де F – перетворення Лапласа–Стільтьєса (ПЛС) щільності розподілу інтервалів між вимогами

$f(t)$ у СМО, що має вигляд $F(s) = \int_0^{+\infty} e^{-st} f(t) dt$,

s – комплексна змінна, μ – інтенсивність обслуговування пакетів у СМО.

Аналогічно [7, 8], неважко бачити, що σ (1) можна знайти з рівняння

$$\sigma = \sum_{n=1}^{\infty} \alpha \frac{(-1)^{n-1}}{(n-1)!} \beta^n \frac{\Gamma(n\alpha)}{(\mu - \mu\sigma)^{n\alpha}}, \quad n\alpha > 0, \quad (2)$$

де Γ – гама-функція.

Розв’язуючи рівняння (2), знаходимо корінь рівняння σ і, отже, середній час затримки пакетів [9]:

$$W = W(\mu, \sigma) = \frac{\sigma}{\mu(1 - \sigma)}, \quad (3)$$

де μ – інтенсивність обслуговування пакетів у СМО.

Знайдемо найбільше і найменше значення $W = W(\sigma, \mu)$ середнього часу очікування в СМО в області $G = \{(\mu, \sigma) : 0 < \mu < \infty, 0 \leq \sigma < 1\}$ [10]. Задана область G – нескінченна (рис. 1). Виділимо в ній обмежену замкнену область $G_1 = \{(\mu, \sigma) : \delta \leq \mu \leq N, 0 \leq \sigma \leq 1 - \varepsilon, \varepsilon > 0\}$, де δ і ε – достатньо малі додатні величини, N – стала (рис. 2).

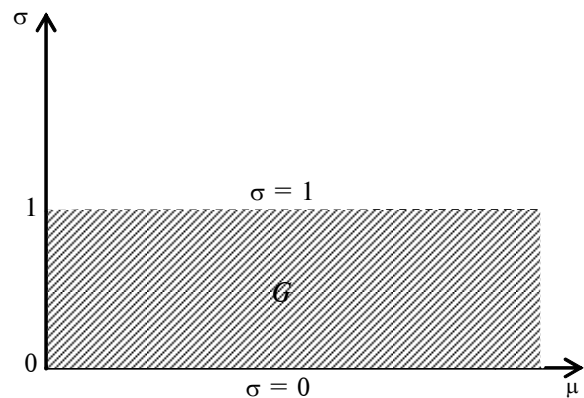


Рис. 1. Область $G = \{(\mu, \sigma) : 0 < \mu < \infty, 0 \leq \sigma < 1\}$

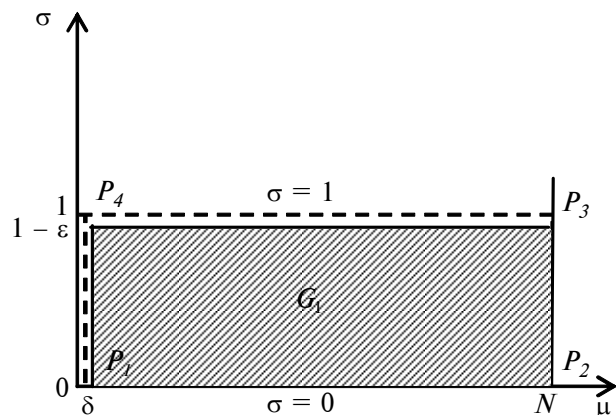


Рис. 2. Область $G_1 = \{(\mu, \sigma) : \delta \leq \mu \leq N, 0 \leq \sigma \leq 1 - \varepsilon, \varepsilon > 0\}$

Область G_1 (рис. 2) – прямокутник $G_1 = \{(\mu, \sigma) : \delta \leq \mu \leq N, 0 \leq \sigma \leq 1 - \varepsilon\}$, де δ і ε – нескінченно малі додатні величини. Знайдемо найбільше і найменше значення функції $W =$

$= W(\sigma, \mu)$ в обмеженій замкненій області G_1 , де G_1 – прямокутник $P_1P_2P_3P_4$ з координатами $P_1(\delta; 0)$, $P_2(\delta; 0)$, $P_3(N; 1 - \varepsilon)$, $P_4(\delta; 1 - \varepsilon)$, де δ і ε – достатньо малі додатні величини, $N = \text{const}$.

Досліджуємо функцію $W = W(\sigma, \mu)$ на границі області G_1 . Розглянемо відрізок P_1P_2 прямої, рівняння якої $\sigma = 0$, $\delta \leq \mu \leq N$. Ця функція $W = W(\mu, \sigma)$ для всіх $\delta \leq \mu \leq N$ набуває значення 0, тобто на відрізку P_1P_2 $W(\mu, \sigma) \equiv 0$.

Розглянемо відрізок P_2P_3 прямої, рівняння якої $\mu = N$, $0 \leq \sigma \leq 1 - \varepsilon$. Тоді функція $W = W(\mu, \sigma)$ на відрізку P_2P_3 набуває вигляду

$$W(N, \sigma) = W(\sigma) = \frac{\sigma}{N(1 - \sigma)}, \quad (4)$$

де $0 \leq \sigma \leq 1 - \varepsilon$.

Знайдемо W'_σ :

$$W'_\sigma = \left(\frac{\sigma}{N(1 - \sigma)} \right)' = \frac{1}{N(1 - \sigma)^2} > 0.$$

Функція (4) монотонно зростає при $0 \leq \sigma \leq 1 - \varepsilon$ і на кінцях відрізка P_2P_3 набуває найменшого значення $W_{\text{найм}} = W(N; 0) = 0$ і най-

більшого значення $W_{\text{найб}} = W(N; 1 - \varepsilon) = \frac{1 - \varepsilon}{N\varepsilon}$.

Розглянемо відрізок P_3P_4 прямої, рівняння якої $\sigma = 1 - \varepsilon$. При цьому $0 \leq \mu \leq N$. Тоді функція (3) набуває вигляду

$$W = W(\mu, 1 - \varepsilon) = W(\mu) = \frac{1 - \varepsilon}{\mu\varepsilon}, \quad (5)$$

де ε – достатньо мала додатна величина.

Згідно з (5) знайдемо значення W'_μ :

$$W'_\mu = \left(\frac{1 - \varepsilon}{\mu\varepsilon} \right)' = -\frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon\mu^2} < 0$$

для достатньо малої додатної величини ε .

Тоді на відрізку P_3P_4 функція $W = W(\sigma, \mu)$ досягає максимального значення $W_{\text{найб}} = W(\delta; 1 - \varepsilon) = \frac{1 - \varepsilon}{\delta\varepsilon}$ та найменшого значення $W_{\text{найм}} =$

$$= W(N; 1 - \varepsilon) = \frac{1 - \varepsilon}{N\varepsilon}.$$

Розглянемо відрізок P_1P_4 прямої, рівняння якої $\mu = \delta$. При цьому $0 \leq \sigma \leq 1 - \varepsilon$. Тоді функція $W = W(\sigma, \mu)$ набуває вигляду

$$W = W(\delta, \sigma) = W(\sigma) = \frac{\sigma}{\delta(1 - \sigma)}, \quad (6)$$

де δ – достатньо мала додатна величина.

Згідно з (6) W'_σ буде мати вигляд

$$W'_\sigma = \frac{1}{\delta(1 - \sigma)^2} > 0$$

для додатних δ .

Відповідно, функція $W = \frac{\sigma}{\mu(1 - \sigma)}$ на відріз-

ку P_1P_4 має найменше значення $W_{\text{найм}} = W(\delta; 0) = 0$ і досягає найбільшого значення

функції $W_{\text{найб}} = W(\delta; 1 - \varepsilon) = \frac{1 - \varepsilon}{\delta\varepsilon}$.

Порівнюючи всі знайдені значення функції, робимо висновок, що в області G_1 найменше значення функція $W = W(\mu, \sigma)$ досягає на відрізку P_1P_2 й дорівнює 0, а найбільше значення має в точці P_3 й дорівнює

$$W_{\text{найб}}(P_3) = W_{\text{найб}}(N; 1 - \varepsilon) = \frac{1 - \varepsilon}{N\varepsilon}.$$

Отримані результати дають змогу визначити найменше та найбільше значення середнього часу очікування $W = W(\mu, \sigma)$ пакетів у

СМО, використовуючи функцію $W = \frac{\sigma}{\mu(1 - \sigma)}$

для різних значень інтенсивностей обслуговування пакетів μ .

У цьому випадку, з ростом інтенсивності μ обслуговування пакетів у СМО типу $W_B/M/1/\infty$, що обслуговує потік пакетів, проміжки між надходженнями яких описані розподілом Вейбула, середній час очікування пакетів буде зменшуватися. При цьому досить важливо враховувати, що залежно від інтенсивності надходження пакетів у СМО і відповідної інтенсивності їх обслуговування значення середнього часу очікування пакетів у СМО буде значно змінюватися. Це дасть можливість обґрунтовано підходити до вибору розміру буферних пристроїв з урахуванням значень середнього часу очікування пакетів. Тому при обслуговуванні самоподібного трафіку в мережі post-NGN заданої структури результати найменшо-

го і найбільшого значення середнього часу очікування $W = W(\mu, \sigma)$ пакетів у СМО дадуть змогу забезпечити необхідну продуктивність мережних вузлів. Цей вибір виконується за найбільшим значенням середнього часу очікування пакетів у СМО. Отримані значення середнього часу очікування пакетів дадуть змогу визначити середню довжину черги пакетів і, відповідно, передбачити найменший та найбільший розмір буферного пристрою.

Розглянемо залежність середнього часу очікування W пакетів у СМО за різних значень заданих інтенсивностей обслуговування пакетів і значень кореня σ , отриманого з розв'язку рівняння (2). При цьому $\mu \in (0; +\infty)$, $\sigma \in [0; 1)$. Побудуємо графік $W = W(\mu, \sigma)$ при $\mu \in [0; 5]$ і $\sigma \in [0; 1)$ (рис. 3).

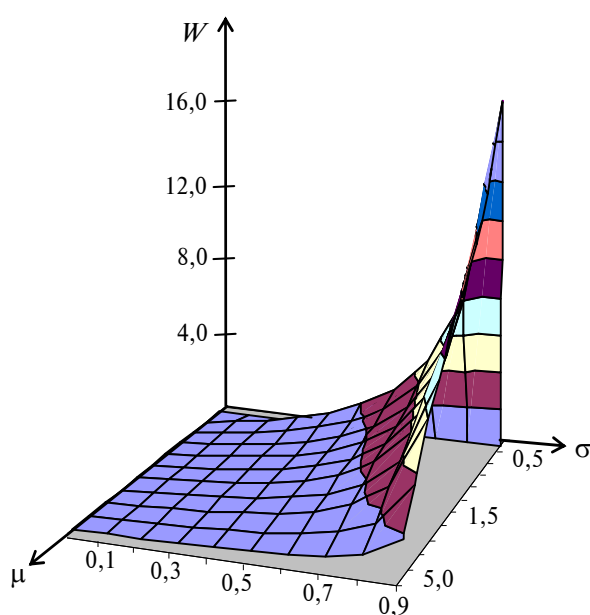


Рис. 3. Графік залежності середнього часу очікування пакетів $W = W(\mu, \sigma)$ системи масового обслуговування $W_B/M/1/\infty$

Розглядаючи одержаний графік на рис. 3, слід зазначити, що отримані значення середнього часу очікування пакетів $W \in [0,022; 18,0]$ зростають зі збільшенням значення коефіцієнта $\sigma \in [0; 1)$ і зменшуються з ростом інтенсивності обслуговування пакетів $\mu \in [0; 5,0]$. При цьому значення середнього часу очікування пакетів на цьому відрізку $\mu \in [0; 5,0]$ поступово збільшуються в області значення коефіцієнта $\sigma \in [0; 1)$.

З огляду на те, що значення коефіцієнта σ залежать від параметра α , який визначає форму кривої розподілу Вейбула і коефіцієнта Херста H , очевидно, що значення середнього часу очікування W залежить від перерахованих вище значень. Це підтверджує, що від значення $\sigma \in [0; 1)$, форми кривої розподілу Вейбула і значення коефіцієнта Херста залежить середній час затримки пакетів у СМО $W_B/M/1/\infty$.

Висновки

Проведено дослідження на екстремум однієї з характеристик якості QoS самоподібного трафіку – середнього часу затримки пакетів W для СМО вигляду $W_B/M/1/\infty$ із використанням двопараметричного розподілу Вейбула, що має асимптотичну збіжність до експоненціального розподілу за параметра форми $\alpha = 1$ і параметра Херста $H = 0,5$.

Отримано найбільше та найменше значення середнього часу затримки пакетів за різних умов функціонування СМО.

Визначено значення середнього часу очікування W пакетів у СМО $W_B/M/1/\infty$ для різних значень інтенсивностей обслуговування пакетів $\mu \in [0; 5,0]$ і заданих значень параметра α форми кривої розподілу Вейбула. Встановлено, що середній час очікування W пакетів у СМО $W_B/M/1/\infty$ збільшується зі збільшенням значень параметра Херста $H \in [0,55; 0,9]$.

Отримані результати дають змогу на етапі проектування і подальшої експлуатації апаратно-програмних засобів мережі post-NGN враховувати особливості побудови і структуру вузлів мережі в умовах реальних процесів їх функціонування, тобто задати границі мережних характеристик, у яких буде забезпечена необхідна якість обслуговування QoS. У подальшому доцільно знайти оптимальні ймовірнісні характеристики якості обслуговування самоподібного трафіку, а саме значення мінімальної ймовірності втрат і спотворень пакетів та максимальні ймовірності знаходження n пакетів на обслуговування в СМО $W_B/M/1/\infty$. Отримані результати цих досліджень дадуть змогу отримати граничні значення ймовірностей, тим самим підвищити якість обслуговування пакетного трафіку в мережі post-NGN.

References

- [1] B.S. Goldstein, *Communication Network Post-NGN*, A.E. Kucheryviy, Ed. St. Petersburg, Russia: *BXV-Petersburg*, 2014.
- [2] *Networks of the Next Generation NGN*, A.V. Roslyakov *et al.*, eds. Moscow, Russia: *Eko-Trends*, 2008.
- [3] V.I. Tikhonov and P.P. Vorobiyenko, "Integrated telecommunication technology for the next generation networks", in *Proc. ITU Kaleidoscope: Building Sustainable Communities: Building Sustainable Communities*, Kyoto, Japan, April 22–24, 2013, pp. 187–194. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6533766>
- [4] V.V. Krylov and S.S. Samohvalova, *Teletraffic Theory and Its Applications*. St. Petersburg, Russia: *BXV-Petersburg*, 2005.
- [5] L.A. Fomin and G.I. Linets, "Taking into account the self-similarity properties of the load in network structures", *Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, vol. 33, no. 5, pp. 106–110, 2007.
- [6] O.I. Sheluhin and A.V. Osin, "Influence of self-similarity of traffic on optimization of parameters of telecommunication networks", *Electrotechnical and Information Complexes and Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 55–59, 2007.
- [7] I.V. Strelkovskaya *et al.*, "Self-similar traffic in G/M/1 queue defined by the Weibull distribution", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 61, no. 3, pp. 173–180, 2018. doi: 10.20535/S0021347018030056
- [8] I.V. Strelkovskaya *et al.*, "Finding some QoS characteristics of self-similar traffic serviced by a mobile network", in *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. Advanced Information and Communication Technologies-2017*, Lviv, Ukraine, July 4–7, 2017, pp. 146–149. doi: 10.1109/AIACT.2017.8020086
- [9] L. Kleynrok, *Theory of Queuing System Service*, I.I. Grushko, Ed. Moscow, SU: Mashinostroyeniye, 1979.
- [10] G.M. Fikhtengolts, *Fundamentals of Mathematical Analysis*, vol. 2. Moscow, SU: Nauka, 1968.

И.В. Стрелковская, И.Н. Соловская, А.О. Макоганюк

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ЭКСТРЕМУМ СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТОВ В САМОПОДОБНОМ ТРАФИКЕ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕЙБУЛЛА

Проблематика. Развитие сетей post-NGN предполагает рост номенклатуры высокоскоростных услуг, которые требуют значительной пропускной способности и достаточно критичны к временным задержкам. Это определяет значительные изменения в структуре трафика и требует решения задач оценки характеристик качества QoS при обслуживании трафика в сети post-NGN. При этом возможно найти необходимый объем сетевых ресурсов для их поддержки при максимальной и сбалансированной загрузке ресурсов сети.

Цель исследования. Главной задачей работы является исследование на экстремум некоторых характеристик качества QoS обслуживания самоподобного трафика, который описывается с помощью распределения Вейбулла.

Методика реализации. Оценка значения среднего времени задержки пакетов самоподобного трафика для системы массового обслуживания (СМО) $W_B/M/1/\infty$ с использованием двухпараметрического распределения Вейбулла и поиск наибольшего и наименьшего значений среднего времени задержки пакетов выполнены для разных условий функционирования системы массового обслуживания и различных значений интенсивностей обслуживания пакетов и параметра Херста.

Результаты исследования. Определено значение среднего времени задержки W пакетов в СМО $W_B/M/1/\infty$ для различных значений интенсивностей обслуживания пакетов $\mu \in [0; 5.0]$, и получена зависимость среднего времени ожидания W пакетов в СМО $W_B/M/1/\infty$ от параметра α , который определяет форму кривой распределения Вейбулла. Установлено, что с увеличением параметра Херста значение среднего времени задержки W пакетов увеличивается. Это означает, что увеличение части высокоскоростных услуг (Video Surveillance, smart-TV, HD-видео) требует увеличения размера буферных устройств для обеспечения необходимой производительности сетевых узлов сети post-NGN.

Выводы. Полученные результаты позволяют при проектировании объектов сети post-NGN учитывать особенности построения и структуру узлов сети в условиях реальных процессов их функционирования, а также позволяют задавать границы сетевых характеристик, в которых будет обеспечено необходимое качество обслуживания QoS. Кроме того, результаты исследования позволяют при обслуживании самоподобного трафика в сети post-NGN заданной структуры обеспечить необходимую производительность сетевых узлов и, соответственно, размер буферных устройств.

Ключевые слова: самоподобный трафик; система массового обслуживания; качество обслуживания QoS; распределение Вейбулла; время задержки пакетов.

I.V. Strelkovskaya, I.N. Solovskaya, A.O. Makoganiuk

INVESTIGATION AT THE EXTREMUM ON THE AVERAGE TIME DELAY OF PACKAGES OF SELF-SIMILAR TRAFFIC DESCRIBED BY THE WEIBULL DISTRIBUTION

Background. The development of post-NGN networks leads to an increase in the range of high-speed services that require significant bandwidth and are sufficiently critical to time delays. This determines significant changes in the traffic structure and requires solving the problem of assessing the QoS characteristics when servicing traffic in the post-NGN network. It is possible to find the necessary amount of network resources to support them with the maximum and balanced load of network resources.

Objective. The aim of the paper is to investigate the extremum of some QoS characteristics of self-similar traffic, which is described by means of Weibull distribution.

Methods. Estimation of the average packet delay time of self-similar traffic for the queuing system QS $W_B/M/1/\infty$ using the Weibull two-parameter distribution and the search for maximum and minimum of the average packet delay time were performed for different conditions of the queuing system operation and different values of packet service intensities and the Hurst parameter.

Results. Value for the average delay time of W packets in QS $W_B/M/1/\infty$ for different values of service rate packet $\mu \in [0;5.0]$ was defined, and dependence of the average waiting time of W packets in QS $W_B/M/1/\infty$ from the parameter α , which determines the shape of the Weibull distribution curve, was obtained. It is found that with increasing Hurst parameter, the average delay time value W of packets increases. It means that the increase of the high-speed services (Video Surveillance, smart-TV, HD-video) requires an increase in the size of the buffer devices to provide the required performance of network nodes of post-NGN network.

Conclusions. The obtained results allow designing post-NGN network objects taking into account the peculiarities of the construction and structure of the network nodes in the conditions of the real processes of their operation, and provide the ability to set the boundaries of network characteristics, which will provide the necessary QoS. Also, the results of the study will allow the maintenance of self-similar traffic in the post-NGN network of a given structure to provide the necessary performance of network nodes and, accordingly, the size of the buffer devices.

Keywords: self-similar traffic; queuing system; QoS characteristics; Weibull distribution; packet delay time.

Рекомендована Радою
Інституту телекомунікаційних систем
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
8 червня 2018 року

Прийнята до публікації
6 вересня 2018 року