

О. В. Коломійцев¹, Алнаері Фрхат Алі², І. Ю. Петровська¹

¹ Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

² Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

МЕТОД РОЗРАХУНКУ РОЗМІРУ БУФЕРНОЇ ПАМ'ЯТІ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Анотація. У статті запропоновано підхід до розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента мережі передачі даних. **Предметом дослідження** є автономні сегменти телекомунікаційної мережі, які володіють властивістю самовідновлення. **Об'єктом дослідження** є процес формування місць у буферній пам'яті автономного сегмента, який дозволить зменшити ймовірність втрати пакетів. **Наукова новизна** полягає в удосконаленні методу розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при обмеженні мережних ресурсах шляхом визначення мінімально необхідної кількості місць. **Використані методи.** Основні теоретичні положення базуються на теорії викидів випадкових процесів. **Результати.** Визначаються пікові викиди трафіка. Затримані пакети можуть бути передані в моменти зниження інтенсивності трафіку нижче вказаного рівня, причому допустимий час затримки визначиться з вимог часової прозорості мережі, яка гарантує встановлену якість обслуговування абонента, котрий використовує послуги відповідної служби. **Висновок:** запропонований підхід надає можливість розрахувати необхідний обсяг буферної пам'яті, що забезпечує підтримку необхідних значень ймовірності відмови обслуговування пакетів.

Ключові слова: самовідновлення; телекомунікаційна мережа; буферна пам'ять; сегмент мережі.

Вступ

Самовідновлювальні системи (СВС) характеризуються автоматичним виявленням збоїв системи і прийомами відновлення після таких ситуацій. Система самовідновлення може активно відстежувати і виявляти потенційні відхилення від своїх стандартних параметрів, перевіряти їх з певним ступенем достовірності і відновлювати нормальні операції без втручання людини.

У СВС обов'язковий механізм моніторингу та виявлення, який постійно контролює систему, щоб переконатися, що вона працює нормально, і повідомляє про будь-які відхилення від очікуваної поведінки. Забезпечуючи раннє виявлення і відновлення системи, системи самовідновлення можуть значно знизити показники QoS [1, 2]. Зокрема, збільшується ймовірність втрати пакетів під час пікового навантаження.

Аналіз літературних джерел і постановка завдання. Підходи до зниження ймовірності втрати пакетів під час пікового навантаження розглянуті у [3-6], але існуючі не орієнтовані на самовідновлювальні сегменти мережі.

Тому **метою статті** є розроблення підходу до визначення мінімально необхідного розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента мережі передачі даних при заданій максимально можливій допустимій ймовірності втрат пакетів, орієнтовано на особливості самовідновлювальних структур.

Основна частина

Швидкість передачі інформації, доступна користувачу конкретної служби самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, є стохастичним процесом $r(t)$ і має ймовірнісний опис. Вона має такі певні характеристики: максимальну швидкість передачі r_m , середню швидкість r_{cp} за час сеансу T і берстність B (коефіцієнт пачковості).

Берстність дозволяє оцінити необхідну пропускну здатність ланок мережі зв'язку, але не дає можливості оцінити швидкість розвитку випадкового процесу в часі $r(t)$, тому що не пов'язана з його спектральними, а, отже, і кореляційними властивостями. Для врахування часового масштабу випадкової функції $r(t)$, відповідно до рекомендацій Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ), введена ще одна характеристика трафіку - середній час піку T_p . З аналізу випадкових процесів випливає, що тривалість викиду залежить від рівня, на якому проводиться вимір, однак в рекомендаціях МСЕ відсутні міркування щодо вибору цього рівня.

Обґрунтований вибір величини рівня вимірювань тривалості піку дасть можливість однозначно визначити такі параметри самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, як необхідний обсяг буферної пам'яті, уточнити поняття еквівалентної ширини смуги бігових швидкостей передачі, а також оцінити частоту пульсацій часу затримки (джітер).

Основні теоретичні положення базуються на теорії викидів випадкових процесів. На рис. 1 приведена реалізація випадкового процесу $\xi(t)$ тривалістю T (наприклад, тривалість сеансу зв'язку), де C - фіксований рівень, τ - тривалість викиду, S - площа викиду.

Реальні випадкові процеси є безперервними функціями часу з обмеженим спектром в силу інерційних властивостей, як самого джерела повідомлення, так і пристроїв обробки, що діють як фільтр нижніх частот. Зокрема, поняття коротких і тривалих повідомлень, паузи між ними, відносні і залежать від швидкодії засобів реалізації системи комутації. Джерело трафіку вважається пульсуючим, якщо сумарний час на встановлення і роз'єднання наскрізного каналу менше інтервалу появи наступного повідомлення. Це дає підставу надалі при виведенні

основних формул користуватися параболічною апроксимацією викиду по S (рис. 1). Такі функції мають кінцеве число максимумів і мінімумів на обмеженому інтервалі часу T .

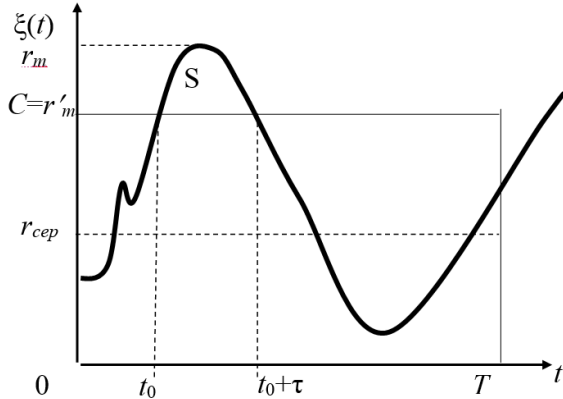


Рис. 1. Реалізація випадкового процесу $\xi(t)$ тривалістю T

Реалізація може кілька разів перетинати рівень C від низу до верху (з позитивною похідною). Число таких перетинів відповідає числу позитивних викидів випадкового процесу $N^+(C, T)$ над рівнем C , для якого теорія дає досить строгий математичний вираз:

$$N^+(C, T) = \int_0^T dt \int_0^\infty \xi' P(C, \xi'; t) d\xi', \quad (1)$$

де P – щільність ймовірності над рівнем C , а штрих означає диференціювання по t .

Для стаціонарних випадкових процесів вираз (1) значно спрощується:

$$N^+(C, T) = P(C) \int_0^\infty \xi' P(\xi') d\xi'. \quad (2)$$

Формула (2) дає можливість визначити середнє число викидів для довільного закону розподілу випадкового процесу $\xi(t)$. Якщо гаусів процес є стаціонарним, то середнє значення повного числа перетинів процесом рівня C в одиницю часу дорівнює

$$N(C) = \frac{1}{\pi} \sqrt{-\rho_o''} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{C - r_{cp}}{\sigma}\right)^2\right], \quad (3)$$

де ρ_o'' – друга похідна від коефіцієнта кореляції; σ – середньоквадратичне відхилення.

При досить високих рівнях $C \gg 0$ переважна частина викидів має малу тривалість і дорівнює числу максимумів, що перевищують рівень C . Випадковий процес $\xi(t)$, що плавно змінюється в невеликому околі максимуму, можна апроксимувати параболою.

Нехай t_0 є моментом часу початку позитивного викиду, тобто $\xi(t_0) = C$, $\xi'(t_0) > 0$. Розкладемо функцію в ряд Тейлора в околі точки t_0 і обмежимося квадратичним членом:

$$\xi(t) = \xi(t_0) + \xi'(t_0)(t - t_0) + \frac{1}{2} \xi''(t)(t - t_0)^2. \quad (4)$$

Вважаючи, що $\xi(t_0) = \xi(t_0 - \tau) = C$, отримаємо

$$\tau = -\frac{2\xi'(t)}{\xi''(t)}. \quad (5)$$

Таким чином, завдання зводиться до обчислення спільної щільності ймовірності $W_o(\xi_o', \xi_o'')$ початкових похідних. Застосовуючи отримані співвідношення (4) і (5) до нормального стаціонарного процесу з функцією кореляції $K(\tau) = \sigma^2 \cdot r(\tau)$, отримаємо щільність ймовірності тривалості викидів при високих позитивних рівнях C .

$$P(\tau, C) = \frac{1}{4} (-\rho_o'') \frac{C^2}{\sigma^2} \tau \exp\left[-\frac{1}{8} (-\rho_o'') \frac{C^2 \cdot \tau^2}{\sigma^2}\right]. \quad (6)$$

Параболічна апроксимація форми викидів дозволяє знайти розподіл викидів по площі:

$$S = \int_{t_0}^{t_0+\tau} [\xi(t) - C] dt. \quad (7)$$

Враховуючи (5), отримуємо

$$S = \frac{2}{3} (\xi_o')^3 (\xi_o'')^2. \quad (8)$$

При відомій сумісній щільності ймовірності $W_o(\xi_o', \xi_o'')$ для першої і другої похідних в момент початку позитивного викиду на рівні C щільність ймовірності розподілу викидів по площі дорівнює

$$P(S, C) = \frac{1}{3} \lambda^{2/3} S^{-1/3} \exp\left[-\frac{1}{2} (\lambda S)^{2/3}\right], \quad (9)$$

де $\lambda = \frac{2}{3} \frac{C^2}{\sigma^3} \sqrt{-\rho_o''}$, $C \gg \sigma$. (10)

Таким чином, площу викиду можна розглядати як необхідний обсяг буферної пам'яті в вузлах комутації, щоб уникнути втрати пакетів в разі відсутності необхідної ширини смуги бітової швидкості передачі, причому рівень C визначає доступну швидкість передачі. Затримані в пам'яті пакети можуть бути передані в моменти зниження інтенсивності трафіку нижче вказаного рівня, причому допустимий час затримки визначиться з вимог часової прозорості мережі, яка гарантує встановлену якість обслуговування абонента, котрий використовує послуги відповідної служби.

Проведемо більш детальний аналіз формули (9), представивши її у вигляді

$$\lambda^{-1} P(S, C) = \frac{1}{3} (\lambda S)^{-1/3} \exp\left[-\frac{1}{2} (\lambda S)^{2/3}\right]. \quad (11)$$

Крива залежності розподілу площі S викидів нормального стаціонарного процесу над рівнем C представлена на рис. 2.

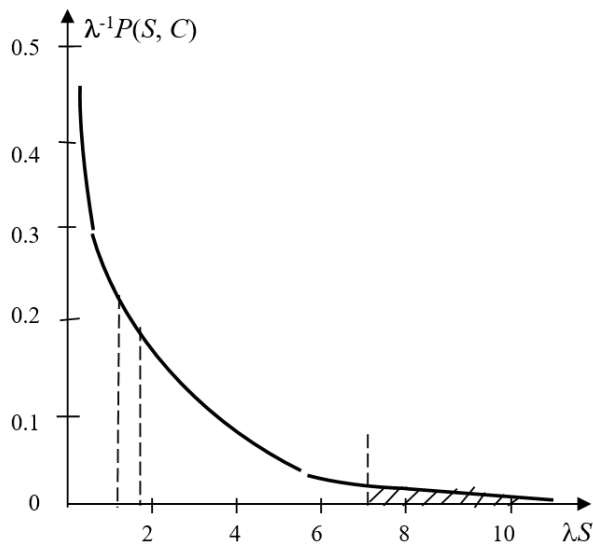


Рис. 2. Площа викидів S над рівнем C

Визначимо середнє значення площі викиду.

$$S_{сеп} = [MP(C, S)] = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} S \cdot \lambda^{2/3} S^{-1/3} \exp\left[-\frac{1}{2}(\lambda S)^{2/3}\right] ds = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{3}{\lambda} \quad (12)$$

або, враховуючи (10),

$$S_{сеп} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{9\sigma^3}{2C^2 \sqrt{-\rho_0''}} \quad (13)$$

Середнє значення тривалості викиду, що визначає додаткову затримку внаслідок зберігання надлишкових пакетів в буферній пам'яті

$$\tau_{сеп} = 2\pi\sigma^2 / \left(\sqrt{-\rho_0''} \cdot C\right) \quad (14)$$

В якості конкретних виразів для ρ приймемо найбільш поширені коефіцієнти кореляції, які наведені в табл. 1 для фрактальних процесів, де Δf_e – ефективна смуга частотного спектра трафіку

Таблиця 1 – Розрахунок коефіцієнтів кореляції

$\rho(\tau)$	$-\rho_0''$	$S(f)$	Δf_e	$\sqrt{-\rho_0''}$
$(1 + \alpha \tau)e^{-\alpha \tau }$	α^2	$\frac{4\alpha^3}{[\alpha^2 + (2\pi f)^2]^2}$	$\frac{\alpha}{8}$	$8\Delta f_e$
$e^{-\alpha\tau^2}$	2α	$\frac{\sqrt{\pi/\alpha} \times \exp(-\pi^2 f^2/\alpha)}{2\sqrt{\pi}}$	$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\alpha}{\pi}}$	$3,54 \times \Delta f_e$
$[1 + \alpha \tau] + (\alpha\tau)^2 e^{-\alpha \tau /3}$	$\frac{1}{3}\alpha^2$	$\frac{16\alpha^5}{3[\alpha^2 + (2\pi f)^2]^3}$	$\frac{3}{32}\alpha$	$6,02 \times \Delta f_e$
$[1 + (\alpha\tau)^2]^{-1}$	$2\alpha^2$	$\frac{\pi}{\alpha} \exp\left(-\frac{2\pi f}{\alpha}\right)$	$\frac{1}{2\pi}\alpha$	$8,85 \times \Delta f_e$
$\text{Sech}(\alpha\tau)$	α^2	$\frac{\pi}{2} \text{sech}\left(\frac{\pi^2 f}{\alpha}\right)$	$\frac{1}{2\pi}\alpha$	$6,28 \times \Delta f_e$

Зазвичай при проведенні аналізу фрактального трафіка використовують другий рядок даної таблиці, тобто для $\rho(\tau) = e^{-\alpha\tau^2}$, отже тоді відповідні характеристики можуть бути розраховані за такими виразами:

$$N(C) = a\Delta f_e \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(C-m)^2}{\sigma}\right]; \quad (15)$$

$$P(\tau, C) = 2b\Delta f_e \cdot C^2 \cdot \tau \exp\left[-B\Delta f_e \left(\frac{C\tau}{\sigma}\right)\right]; \quad (16)$$

$$\lambda = d \cdot \frac{C^2}{\sigma^3} \Delta f_e, \quad (17)$$

причому значення констант a, b, d залежно від вигляду функцій кореляції, змінюються в таких межах:

$$a = 1,13 \div 2,82;$$

$$b = 0,44 \div 1,10;$$

$$d = 2,36 \div 5,9.$$

Остаточні вирази середніх значень тривалості викиду і його площі для функції кореляції вигляду $r(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha\tau}$ можна представити таким чином:

$$\tau_{сеп} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma}{C \cdot \Delta f_e}; \quad (18)$$

$$S_{сеп} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^3}{\Delta f_e}. \quad (19)$$

Із виразів (18), (19), можна знайти в середньому співвідношення між тривалістю викиду і його площею:

$$S_{сеп} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot \tau_{сеп}. \quad (20)$$

Якщо ототожнювати $\xi(t)$ зі швидкістю передачі інформації $r(t)$, а $S_{сеп}$ з необхідним обсягом буферної пам'яті, тобто $S_{сеп} = \bar{S}$, то середній обсяг пам'яті виражається через середній час піку такою залежністю:

$$\bar{S} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \tau_{сеп} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot T_p. \quad (21)$$

При фіксованій довжині пакета можна отримати оцінку нижньої границі потрібної кількості місць у черзі. Так при стандартній довжині пакета 8 кбіт необхідно мати не менше ніж

$$\bar{m}_0 = 0,15 \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot T_p \text{ (місць)}, \quad (22)$$

причому і рівень C вимірюються в кбіт/с.

Однак в практичних задачах недоцільно пов'язувати необхідний обсяг буферної пам'яті із середнім значенням площі викиду, так як це робить жорсткішими вимоги до системи зв'язку. Можна визначити рівень обмеження $C = C_n$ так, щоб площа викиду з ймовірністю P_0 не перевищувала задану ве-

личину S_n , сумісну з ресурсами мережі. На рис. 2 значення $(\lambda S)_n$ визначає нижню межу заштрихованої області та ймовірність появи викиду, що має площу, яка перевищує задану величину, отже,

$$P_o(S) = P(S \leq S_n) = 1 - \int_{+S_n}^{\infty} P(S, C) dS = 1 + e^{-\frac{1}{3} \lambda^{2/3} S_n^{2/3}}, \quad (23)$$

де λ визначається формулою (17).

На рис. 3 наведена залежність даної ймовірності від значень площі викидів.

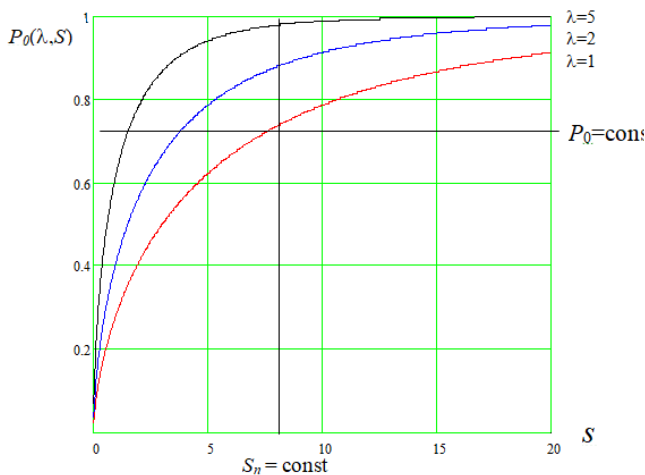


Рис. 3. Поріг допустимих швидкостей передачі

Криві залежності (23) при $\lambda = const$, що представлені на рис. 3, дозволяють визначити поріг C_n , що визначає допустиму швидкість передачі для кожної служби, виходячи із значень P_0 і S_n , за якими параметр визначається однозначно:

$$C_n = \sqrt{\lambda_n \cdot \sigma^3 / (d \cdot \Delta f_e)}, \quad (24)$$

де поріг C_n відраховується від середнього значення трафіку, тобто $C_n = C - m$, що відповідає геометричним координатам точок $P_0(S)$, що проходить через точку перетину прямих $P_0 = const$ і $S_n = const$.

Висновки

У статті розроблений підхід до визначення мінімально необхідного розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента мережі передачі даних при заданій максимально можливій допустимій ймовірності втрат пакетів. Основні теоретичні положення базуються на теорії викидів випадкових процесів. Визначаються пікові викиди трафіка. Затримані пакети можуть бути передані в моменти зниження інтенсивності трафіку нижче вказаного рівня, причому допустимий час затримки визначається з вимог часової прозорості мережі, яка гарантує встановлену якість обслуговування абонента, котрий використовує послуги відповідної служби. Отже, запропонований підхід надає можливість підвищити значення показників QoS, пов'язаних із ймовірністю відмови обслуговування пакетів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shefer O.V., Alnaeri Frhat Ali. Optimum flow distribution in the network with adaptive data transfer. *Electronics and Control Systems*. 2020. No. 4(66). P.45-50. DOI: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.66.15254>
2. Sobieraj M., Stasiak M., Weissenberg J. Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks. *IEICE Transactions on Communications*. 2012. Vol. E95.B, No. 1. P. 120–132.
3. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving Big Data Centers Energy Efficiency: Traffic Based Model and Method / Kharchenko V., Kondratenko Y., Kacprzyk J. (eds) *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol 171. Cham: Springer, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8
4. Kurose J., Ross, K. Computer networking: a top-down approach, 7th ed. Harlow: Pearson, 2017. 864 p.
5. Kuchuk N., Mozhaiev O., Mozhaiev M., Kuchuk H. Method for calculating of R-learning traffic peakedness. *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*. 2017. P. 359-362. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
6. Vapnik V. (), *Estimation of Dependences based on Empirical Data*, N.-Y., Berlin : Springer-Verlag, 1987. 326 p.

Received (Надійшла) 18.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

Method of calculating the size of the self-recovery segment buffer memory of the telecommunications network

Oleksii Kolomiitsev, Alnaeri Frhat Ali, Inna Petrovska

Abstract. The article proposes an approach to calculating the buffer memory size of the self-healing segment of the data transmission network. The subject of the study are autonomous segments of the telecommunications network, which have the property of self-healing. The object of the study is the process of forming places in the buffer memory of the autonomous segment, which will reduce the likelihood of packet loss. The scientific novelty is to improve the method of calculating the size of the buffer memory of the self-healing segment of the telecommunications network with limited network resources by determining the minimum required number of places. Methods used. The main theoretical provisions are based on the theory of emissions of random processes. Results. Peak traffic emissions are determined. Delayed packets can be transmitted when the traffic intensity falls below the specified level, and the allowable delay time will be determined by the requirements of time transparency of the network, which guarantees the established quality of service to the subscriber who uses the services of the service. Conclusion: the proposed approach makes it possible to calculate the required amount of buffer memory, which provides support for the required values of the probability of failure to service packets.

Keywords: self-healing; telecommunication network; buffer memory; network segment.