

ВПЛИВ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКА САМОПОДІБНОСТІ ТРАФІКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Ложковський А.Г., Турчин В.А., Андріяка В.С.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.
aloshk@onat.edu.ua*

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ САМОПОДОБНОСТИ ТРАФИКА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

Ложковский А.Г., Турчин В.А., Андрияка В.С.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
aloshk@onat.edu.ua*

INFLUENCE OF CALCULATION ACCURACY OF TRAFFIC SELF-SIMILARITY EXPONENT ON A QUALITY OF SERVICE CHARACTERISTICS

Lozhkovskiy A.G., Turchyn V.A., Andriiaka V.S.

*O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications,
1 Kuznechna St., 65029, Ukraine, Odessa.
aloshk@onat.edu.ua*

Анотація. Характеристики якості обслуговування (QoS) у будь-якій телекомунікаційній системі залежать від її схеми, правил обслуговування вимог та найбільшою мірою від типу трафіка, що утворюється потоком вимог системи. У пакетних мережах зв'язку застосовують математичну модель самоподібного трафіка, де інтервал часу між пакетами описується розподілами Парето або Вейбулла. Зі зростанням ступеня самоподібності пакетного трафіка характеристики QoS у системі суттєво погіршуються порівняно з обслуговуванням, наприклад, пуассонівського трафіка. Але для такого трафіка невідомі достовірні методики розрахунку характеристик якості обслуговування. Ступінь самоподібності трафіка визначається показником Херста H або коефіцієнтом самоподібності. У статті проаналізовано метод підвищення точності розрахунку характеристик якості обслуговування в пакетній мережі зв'язку з самоподібним трафіком за рахунок більш точного знаходження коефіцієнта самоподібності або показника Херста в залежності від параметрів імовірнісної функції розподілу інтервалу часу між пакетами. Для самоподібного трафіка перевірено точність нових формул розрахунку коефіцієнта самоподібності трафіка на основі параметра форми імовірнісного розподілу. Після більш точного визначення показника Херста розраховується середнє значення кількості пакетів у системі за формулою Норрора, а після цього із апроксимації функції розподілу станів системи розраховується імовірність очікування обслуговування пакета. З підвищенням точності розрахунку показника Херста підвищується й точність розрахунку самих характеристик якості обслуговування. Імітаційне моделювання підтвердило більш високу точність даних методів розрахунку характеристик QoS у системі з самоподібним трафіком. При цьому різниця результатів моделювання і розрахунку не перевищує 3...5%.

Ключові слова: показник Херста, розподіли Парето та Вейбулла, методи розрахунку якості обслуговування, самоподібний трафік, імовірність очікування обслуговування.

Аннотация. Характеристики качества обслуживания (QoS) в любой телекоммуникационной системе зависят от ее схемы, правил обслуживания требований и в наибольшей степени от типа трафика, образуется потоком требований системы. В пакетных сетях связи применяют математическую модель самоподобности трафика, где интервал времени между пакетами описывается распределениями Парето или Вейбулла. С ростом степени самоподобности пакетного трафика характеристики QoS в системе существенно ухудшаются по сравнению с обслуживанием, например, пуассоновского трафика. Но для такого трафика неизвестны

достоверные методики расчета характеристик качества обслуживания. Степень самоподобия трафика определяется показателем Херста H или коэффициентом самоподобности. В статье проанализирован метод повышения точности расчета характеристик качества обслуживания в пакетной сети связи с самоподобным трафиком за счет более точного нахождения коэффициента самоподобия или показателя Херста в зависимости от параметров вероятностной функции распределения интервала времени между пакетами. Для самоподобного трафика проверена точность новых формул расчета коэффициента самоподобности трафика на основе параметра формы вероятностного распределения. После более точного определения показателя Херста рассчитывается среднее значение количества пакетов в системе по формуле Норроса, а затем из аппроксимации функции распределения состояний системы рассчитывается вероятность ожидания обслуживания пакета. С повышением точности расчета показателя Херста повышается и точность расчета самых характеристик качества обслуживания. Имитационное моделирование подтвердило более высокую точность данных методов расчета характеристик QoS в системе с самоподобным трафиком. При этом разница результатов моделирования и расчета не превышает 3...5%.

Ключевые слова: показатель Херста, распределения Парето и Вейбулла, методы расчета качества обслуживания, самоподобный трафик, вероятность ожидания обслуживания.

Abstract. The quality of service (QoS) characteristics in any telecommunication system depend on its scheme, requirements servicing rules and, to the greatest extent, on the type of traffic generated by the system requirements flow. In packet communication networks, a mathematical model of self-similar traffic is used, where the time interval between packets is described by Pareto or Weibull distributions. With an increase in the degree of self-similarity of packet traffic, the QoS characteristics in the system significantly deteriorate compared to servicing, for example, Poisson traffic. But for such traffic there is no reliable methodology for calculating the characteristics of the quality of service. The degree of self-similarity of traffic is determined by the Hurst exponent H or the coefficient of self-similarity. The method of increasing the accuracy of calculating the quality of service characteristics in a packet communication network with self-similar traffic due to a more accurate determination of the self-similarity coefficient or Hurst exponent depending on the parameters of the probability function of the distribution of the time interval between packets is analyzed. For self-similar traffic, the accuracy of new formulas for calculating the traffic self-similarity coefficient based on the shape parameter of the probability distribution has been verified. After a more accurate determination of the Hurst exponent, the average value of the number of packets in the system is calculated using the Norros formula, and then, from the approximation of the distribution function of the system states, the probability of waiting for packet service is calculated. With increasing accuracy of calculating the Hurst exponent, the accuracy of calculating the very characteristics of the quality of service also increases. Simulation confirmed the higher accuracy of these methods for calculating QoS characteristics in a system with self-similar traffic. Moreover, the differences in simulation and calculation results do not exceed 3 ... 5%.

Key words: Hurst exponent, quality of service calculation methods, Pareto and Weibull distributions, self-similar traffic, service waiting probability.

Для телекомунікаційних систем і мереж оцінка характеристик якості обслуговування (QoS) трафіка є однією із найважливіших наукових задач дослідження, яка завжди виконується на основі математичного опису реакції системи на вхідні потоки заявок трафіка. У мультисервісних мережах з пакетними технологіями передавання й комутації інформації пакетному трафіку притаманні «пачкування» (burstiness) пакетів та значно більший рівень нерівномірності інтенсивності надходження пакетів, ніж це передбачено класичною моделлю пуассонівського потоку. Визначено, що пакетний трафік – це фрактальний процес з самоподібними властивостями та певним значенням показника Херста [1]. Але для такої моделі трафіка ще невідомо належних методів розрахунку і часто на практиці оцінка характеристик якості обслуговування мультисервісних мереж зв'язку виконується наближеними методами та засобами імітаційного моделювання.

Модель самоподібного (self-similar) трафіка широко застосовується для пакетних мереж зв'язку, однак достовірність оцінок якості обслуговування існуючими методами є сумнівною. Результати моделювання [2, 3] показують, що, наприклад, наближені оцінки Норроса сильно завищені. Однією з причин цього є невідповідність визначеного показника Херста, на якому й основана формула Норроса, реальному коефіцієнту самоподібності трафіка. Отже, підвищити точність розрахунку характеристик QoS

пакетного трафіка можна шляхом отримання уточненої формули розрахунку коефіцієнта самоподібності (показника Херста) в залежності від параметрів обраної математичної моделі самоподібного трафіка, тобто імовірнісного розподілу параметрів трафіка.

Оцінка характеристик якості обслуговування в одноканальній системі з нескінченною чергою пакетної мережі зв'язку часто зводиться до визначення показника Херста самоподібного трафіка, після чого за формулою Норрса розраховується середня кількість пакетів у системі та всі інші характеристики. Показник Херста можна визначити методом R/S -статистики на основі реальних вимірів характеристик трафіка або з функцій імовірнісних розподілів, що описують цей трафік. Проте відомі формули розрахунку показника Херста, які показують його лінійну залежність від параметрів імовірнісного розподілу трафіка не є точними. Є метод підвищення точності розрахунку характеристик якості обслуговування в пакетній мережі зв'язку з самоподібним трафіком за рахунок більш точного знаходження коефіцієнта самоподібності або показника Херста в залежності від параметрів імовірнісної функції розподілу інтервалу часу між пакетами [2-4]. Для випадку, коли в самоподібному трафіку інтервал часу між пакетами описується розподілами Парето або Вейбулла, отримано нові формули розрахунку коефіцієнта самоподібності трафіка на основі параметра форми цих розподілів. Після більш точного визначення показника Херста у такий спосіб, далі розраховується середнє значення кількості пакетів у системі за формулою Норрса, а після цього із апроксимації функції розподілу станів системи розраховується імовірність очікування обслуговування пакета.

Метою статті є оцінка впливу точності розрахунку показника самоподібності на характеристики якості обслуговування трафіка комп'ютерної мережі.

Трафік пакетних мереж зв'язку можна подати як часову низку кількості пакетів за фіксованими відрізками часу. Для аналізу динаміки часових послідовностей застосовується статистичний R/S -аналіз, створений Г. Херстом. Ним у статистичних даних пакетного трафіка виявляють швидку змінюваність інтенсивності трафіка (сплески інтенсивності або пачкування), фрактальність (самоподібність), наявність періодичних і неперіодичних циклів (через певні протоколи передачі). Практично ступінь самоподібності пакетного трафіка або реальний показник Херста визначається методом найменших квадратів на основі статистичної обробки результатів вимірів параметрів трафіка.

В математичній моделі пакетного трафіка інтервал часу між пакетами самоподібного трафіка описується розподілом Вейбулла. Параметр a форми розподілу Вейбулла (*shape parameter*) і показник Херста H прийнято вважати, що пов'язані лінійною залежністю $H = \frac{2-a}{2}$ при $a = 0 \dots 1$. Проте, дослідження імітаційним моделюванням показують, що для цього розподілу нема лінійної залежності показника Херста H від параметра a форми розподілу.

Результати розрахунку показника Херста за різних значень параметра a форми розподілу Вейбулла, за яким моделювався інтервал часу між пакетами трафіка, показано на рис. 1, з якого випливає, що реальний показник Херста H_R (пунктирна крива) не лінійно залежить від параметра a розподілу Вейбулла.

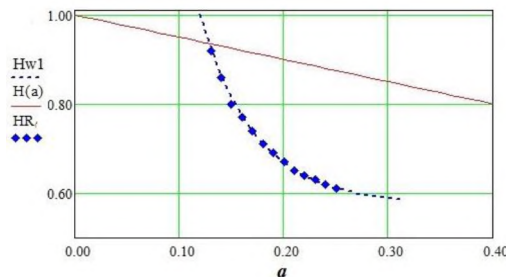


Рисунок 1 – Апроксимація показника Херста H_R для трафіка, модельованого за законом Вейбулла

Апроксимація залежності показника Херста від параметра форми розподілу Вейбулла $a = 0,1 \dots 0,3$ (штрихова лінія рис. 1) забезпечує точність розрахунку H_w з похибкою до 2%, що підвищує точність розрахунку характеристик QoS порівняно з їх розрахунком при використанні формули лінійної залежності H від a з точністю до 15%.

Для розрахунку показника Херста самоподібного трафіка в межах $H = 0,6 \dots 0,9$ застосовано апроксимацію виду

$$H_{w1} = 4,1e^{-19a} + 0,57, \quad (1)$$

де a – параметр форми розподілу Вейбулла.

Формула (1) забезпечує за розподілу Вейбулла розрахунок показника Херста з похибкою до 2% і саме в цьому діапазоні $H = 0,6 \dots 0,9$, в основному, й є значення показника H реального самоподібного трафіка пакетних мереж зв'язку.

У випадку, якщо реальна статистика трафіка (інтервал часу між пакетами) апроксимується розподілом Вейбулла, то необхідно визначати коефіцієнт самоподібності Херста не за формулами його лінійної залежності від параметра форми розподілу, а за формулою апроксимації (1), що суттєво підвищує точність цього розрахунку. Наприклад, з лінійної залежності H за розподілу Вейбулла маємо, що при $a = 0,28$ показник $H = 0,87$, а фактично з (1) або рис. 1 видно, що $H = 0,6$, тобто майже на 31% менше.

Застосування реальної залежності показника Херста H від параметра a форми розподілу Вейбулла (1) підвищує точність розрахунку характеристик QoS порівняно з використанням лінійної залежності H від a .

Отже, для розрахунку показника Херста достатньо знати тільки параметр форми a розподілу Вейбулла, який описує даний трафік, і не треба обчислювати для цього трафіка складним способом, наприклад, методом абсолютних моментів або методом R/S -статистики, коефіцієнт самоподібності показник Херста. З використанням реальної залежності коефіцієнта H від параметра форми a розподілу Вейбулла (1) підвищується точність розрахунку показника Херста і як наслідок потому точність розрахунку характеристик QoS за формулою Норроса підвищується ще більш суттєво. Приклад результатів розрахунку та моделювання для трафіка, генерованого за розподілом Вейбула, надано у табл. 1.

Розрахунками встановлено, що інтенсивність трафіка не впливає на властивості самоподібності трафіка і розрахунки показника Херста за формулою (1) є на порядок точніше, ніж за формулою лінійної залежності H від a .

У табл. 1 надано приклад розрахунку та результатів моделювання для трафіка, генерованого за розподілом Вейбула за постійною інтенсивністю навантаження $\rho = 0,7$.

Таблиця 1 – Показник Херста трафіка з інтенсивністю $\rho = 0,7$ за розподілу Вейбулла

Показник Херста, H	Параметр форми розподілу, a						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Моделювання, H_R	0,699	0,578	0,564	0,529	0,524	0,515	0,511
Формула лінійної залежності, H	0,900	0,850	0,800	0,750	0,700	0,650	0,600
Похибка, %	28,7	47,1	41,8	41,8	33,6	26,2	17,4
Формула (1), H_{w1}	0,708	0,591	0,543	0,523	0,515	0,512	0,511
Похибка, %	1,3	2,2	-3,7	-1,1	-1,7	-0,5	0

З табл. 1 випливає суттєва різниця між реальною та використовуваною тепер лінійною залежністю коефіцієнта самоподібності H від параметра форми a розподілу Вейбулла або різниці між реальною та поточною лінійною залежністю показника Херста H на параметр форми a розподілу Вейбулла. Використання реальних функціональних залежностей H і a дає змогу покращити точність розрахунку характеристик якості обслуговування на порядок. Це дозволяє розраховувати характеристики якості

обслуговування самоподібного трафіка, описаного розподілом Вейбулла в одноканальній системі $fM/D/1/\infty$ з дискретним часом обслуговування пакетів набагато простіше. Ця простота пояснюється тим, що для розрахунку необхідно знати лише параметр форми α розподілу Вейбулла і немає необхідності обчислювати для трафіку коефіцієнт самоподібності (показник Херста) досить складним і трудомістким шляхом, наприклад, за допомогою методу R/S -статистики [3].

Метод розрахунку характеристик QoS самоподібного трафіка в одноканальній системі з нескінченною чергою полягає у наступному. Після визначення за (1) відповідного до розподілу параметрів трафіка показника Херста H розраховується середня кількість пакетів у системі N за формулою Норрса:

$$N = \frac{\rho^{0.5} \rho^{1-H}}{(1-\rho)^{1-H}} \cdot H \quad (2)$$

Інші характеристики QoS, такі як середня кількість пакетів у черзі Q , середній час перебування пакетів у системі T і середній час затримки пакетів у системі W розраховуються за формулами:

$$Q = N - \rho, \quad T = N / \rho, \quad W = T - 1, \quad (3)$$

де T та W дано в умовних одиницях середньої тривалості обслуговування.

Оцінка характеристик QoS виконується на основі математичного опису реакції системи на вхідний потік пакетів. Під реакцією системи розуміють її стани, які через випадкову природу потоку пакетів математично описуються ймовірнісною функцією розподілу кількості зайнятих каналів та місць очікування p_k , де k – кількість пакетів у системі (у каналах і черзі). Ця функція збігається із функцією розподілу кількості пакетів у системі (обслуговуваних і тих, що чекають у черзі), оскільки кожний пакет займає один канал при обслуговуванні або одне місце у черзі при очікуванні. Отже, треба визначити функцію розподілу станів одноканальної системи з нескінченною чергою і на її основі отримати формули розрахунку імовірності очікування обслуговування пакета та середнього часу затримки пакетів в накопичувальному буфері. Маємо: самоподібний вхідний потік, який описується розподілом Вейбулла; дисципліна обслуговування пакетів потоку – без втрат із можливістю очікування в нескінченній черзі, дисципліна обслуговування пакетів із черги – за правилом FIFO, схема – одноканальна.

За довільного потоку пакетів у системі імовірність очікування P_w обслуговування пакета можна розрахувати з імовірнісного розподілу станів системи або кількості пакетів у системі в моменти надходження нових пакетів r_k , де k – кількість пакетів, за формулою:

$$P_w = \sum_{k=1}^{\infty} r_k \quad (4)$$

Отже, у випадку самоподібного трафіка з розподілом інтервалу часу між моментами надходження пакетів за законом Вейбулла розрахунок імовірності очікування обслуговування можливий з функції розподілу станів системи в моменти надходження нових пакетів r_k . У роботі [4] з цієї функції отримана формула розрахунку імовірності очікування обслуговування пакета в одноканальній системі з нескінченною чергою типу $W/D/1/\infty$:

$$P_w \approx \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\rho}{N} \exp\left(-\frac{\rho}{N} k\right), \quad (5)$$

де ρ – загрузка системи ($0,3 < \rho < 1$); N – середня кількість пакетів у системі.

У роботі [5] із функції розподілу станів системи, яка не залежить від моментів надходження пакетів, отримана формула розрахунку імовірності очікування обслуговування пакета в одноканальній системі з нескінченною чергою:

$$P_w \approx 1 - \frac{\exp\left(-\frac{\rho}{N}\right)}{\sum_{i=0}^{\infty} \exp\left(-\frac{\rho}{N} i\right)}. \quad (6)$$

Отже, визначивши коефіцієнт Херста, розраховуємо середнє значення кількості пакетів у системі N за формулою Норрса [2], а після за формулою (5) або (6) розраховуємо імовірність очікування обслуговування пакета P_w . Далі за відомими співвідношеннями (3) розраховуються: середня кількість пакетів у черзі Q , середній час перебування пакетів у системі T і затримки пакетів у системі W . Після цього розраховується середній час затримки пакетів у вхідному буфері t_q [2].

Формули (5) та (6) отримано шляхом використання для цього апроксимуючої функції розподілу станів системи, яка не залежить від моментів надходження пакетів або функції наявності у системі i пакетів у моменти надходження пакетів. Використання конкретної функції розподілу стану системи залежить від способу організації реальних вимірів параметрів трафіка та обслуговування його навантаження у системі розподілу інформації. Перша – накопичення у k лічильнику тривалості знаходження системи у стані k , який для визначення імовірностей поділений на загальний час спостереження. Друга – накопичення у k лічильнику кількості пакетів у системі у момент надходження нового пакета, які потім віднесено до загальної кількості пакетів, що надійшли.

У табл. 2 надано результати обчислення та моделювання трафіка за розподілом Вейбулла з параметром форми $a = 0,2$ та показником Херста $H = 0,7$.

Імовірність очікування обслуговування, отримана шляхом розрахунку та імітаційного моделювання з відносною похибкою розрахунку не більше 1% протягом усього діапазону зміни коефіцієнта використання $\rho = 0,1 \dots 0,9$.

Таблиця 2 – Розрахунок характеристик QoS при моделюванні трафіка за розподілом Вейбулла

Навантаження, ρ	Імовірність очікування, P_w			
	Моделювання	Розрахунок за формулою (5)	Похибка, %	Максимальне / Середнє, N
0,1	0,89641	0,90182	0,6	106/0,87
0,2	0,94175	0,94067	-0,1	175/3,00
0,3	0,96324	0,96150	-0,2	243/7,20
0,4	0,97670	0,97516	-0,2	411/15,2
0,5	0,98497	0,98383	-0,11	586/30,8
0,6	0,99041	0,98953	-0,12	830/57,2
0,7	0,99435	0,99366	-0,1	1392/105
0,8	0,99727	0,99690	-0,16	2411/257
0,9	0,99871	0,99852	-0,09	4215/595

Імовірність очікування обслуговування, яка отримана шляхом розрахунку (5) або (6) та імітаційного моделювання, майже однакова з відносною похибкою розрахунку не більше 2% протягом усього діапазону зміни коефіцієнта використання ρ від 0,1 до 0,9. Чим більше значення показника H та завантаженості ρ , тим вища точність.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Крылов В.В. Теория телетрафика и её приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.
2. Ложковський А.Г. Нові методи теорії телетрафіка / Ложковський А.Г. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 80 с.
3. Lozhkovskiy A.G. Dependence approximation of the Hurst coefficient on the traffic distribution parameter / A.G. Lozhkovskiy, Ye.V. Levenberg // Information & Telecommunication Sciences. – 2017. – № 2. – P.18-22.
4. Lozhkovskiy A.G. Estimating the service waiting probability in a single-channel system with self-similar traffic / A.G. Lozhkovskiy, Ye.V. Levenberg // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2018. – № 1. – P. 22-26.
5. Lozhkovskiy A.G. Calculation the packets average delay time in storage buffer of the single-channel system with self-similar traffic / A.G. Lozhkovskiy, Ye.V. Levenberg // Computational problems of electrical engineering. – 2017. – Vol. 7, №2.– P. 87-91.

REFERENCES:

1. V. Krylov and S. Samokhvalova, The theory of teletraffic and its applications, St. Petersburg, Russia: BHV-Petersburg, 2005. (Russian).
2. Lozhkovskiy A.G. New methods of teletraffic theory. Odesa: O.S. Popov ONAT, 2018. (Ukrainian).
3. Lozhkovskiy A.G. and Levenberg Ye.V. Dependence approximation of the Hurst coefficient on the traffic distribution parameter / Information & Telecommunication Sciences, № 2, P.18-22, 2017.
4. Lozhkovskiy A.G. and Levenberg Ye.V. Estimating the service waiting probability in a single-channel system with self-similar traffic / Scientific Papers of O.S. Popov ONAT, №1, P. 22-26, 2018.
5. Lozhkovskiy A.G. and Levenberg Ye.V. Calculation the packets average delay time in storage buffer of the single-channel system with self-similar traffic / Computational problems of electrical engineering, Vol. 7, № 2, P. 87-91, 2017.

DOI 10.33243/2518-7139-2020-1-1-88-94