

УДК 621. 39

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА
ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ САМОПОДОБНОМ ТРАФИКЕ СЕТИ**

Ложковский А.Г., Вербанов О.В.

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

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ
ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ САМОПОДІБНОМУ ТРАФІКУ МЕРЕЖІ**

Ложковський А.Г., Вербанов О.В.

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

**IMPROVING CALCULATION ACCURACY OF THE SERVICE QUALITY
CHARACTERISTICS OF SELF-SIMILAR TRAFFIC IN THE NETWORK**

Lozhkovskii A.G., Verbanov O.V.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa, Ukraine, 65029
aloshk@onat.edu.ua, overbanov@onat.edu.ua*

Аннотация. Исследованы методы повышения точности расчета характеристик качества обслуживания в сети с самоподобным трафиком за счет более точного нахождения коэффициента Херста в зависимости от параметра формы распределения Парето. Поскольку самоподобный трафик (интервал времени между заявками) лучше всего описывается распределением Парето, то именно для него получена новая формула расчета коэффициента самоподобности трафика. При этом расчет характеристик качества обслуживания можно выполнять на основе формулы Норрора, которая справедлива для модели $fBM/D/1/\infty$.

Ключевые слова: телекоммуникационные системы и сети, методы расчета и проектирования, самоподобный трафик.

Анотація. Досліджено методи підвищення точності розрахунку характеристик якості обслуговування в мережі із самоподібним трафіком за рахунок більш точного знаходження коефіцієнта Херста в залежності від параметра форми розподілу Парето. Оскільки самоподібний трафік (інтервал часу між заявками) краще всього описується розподілом Парето, то саме для нього отримана нова формула розрахунку коефіцієнта самоподібності трафіка. При цьому розрахунок характеристик якості обслуговування можна виконувати на основі формули Норрора, яка справедлива для моделі $fBM/D/1/\infty$.

Ключові слова: телекомунікаційні системи та мережі, методи розрахунку та проектування, самоподібний трафік.

Abstract. Researched methods to improve the accuracy of calculation of the characteristics of service quality in the networks with self-similar traffic through more precise location Hurst coefficient depending on the form of Pareto distribution. Since similar traffic (time interval between requests) best describes the Pareto distribution, it is for him given a new formula for the calculation of the self-similarity coefficient of traffic. The calculation of the characteristics of service quality can be performed on the basis of the Norros formula, which is valid for the model $fBM/D/1/\infty$.

Key words: telecommunications systems and networks, methods of calculation and design, self-similar traffic.

Несмотря на популярность модели самоподобного трафика, до сих пор ряд задач оценки качества обслуживания в пакетной сети остаются нерешенными. В частности, из-за отсутствия строгой теоретической базы, способной дополнить классическую теорию массового обслуживания при проектировании пакетной сети с самоподобным трафиком, не существует достоверной и признанной методики расчета параметров и показателей качества систем распределения информации в условиях эффекта самоподобия. В работах [1...4] показано, что при наличии свойств самоподобия во входящем потоке требований с ростом интенсивности нагрузки ρ ухудшаются характеристики качества обслуживания, но не настолько, как предполагается по методу Норрса. Расхождение результатов моделирования и оценок, получаемых по методу Норрса, составляет сотни процентов [5]. Очевидно, что оценка Норрса значительно завышена, что требует нахождения более точного решения.

Поэтому **цель данной статьи** состоит в повышении точности расчета характеристик качества обслуживания путем получения новой формулы расчета коэффициента самоподобности трафика в зависимости от параметра формы распределения Парето, поскольку самоподобный трафик (интервал времени между заявками) лучше всего описывается именно распределением Парето.

Для односерверной системы с бесконечной очередью и постоянным временем обслуживания (модель $fBM/D/1/\infty$) это грубое решение известно как формула Норрса [5, 6]:

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

Здесь N – это среднее количество требований в системе, которое не может быть превышено, т.е. это верхняя оценка этого количества требований в системе $fBM/D/1/\infty$, а H – это коэффициент самоподобности пакетного трафика, называемый коэффициентом Херста.

Метод Херста позволяет выявить в статистических данных пакетного трафика такие его свойства, как кластерность, тенденцию следовать по направлению тренда (персистентность) и быструю перемежаемость последовательных значений интенсивности трафика (всплески интенсивности, приводящие к пачечности), сильное последствие, сильную память, фрактальность (самоподобность), наличие периодических и непериодических циклов (из-за особенностей используемых протоколов передачи).

Однако, результаты моделирования, представленные на рис. 1, показывают, что для самоподобия трафика с ростом интенсивности нагрузки ρ ухудшаются характеристики качества обслуживания, но не настолько, как это определяется формулой Норрса. Расхождение результатов моделирования (показаны знаком «+») и оценок, полученных по формуле (1) штриховой линией может достигать сотни процентов. Оценка Норрса сильно завышена и надо более точное решение.

Пачечный характер генерированного трафика способствует его адекватности реальному характеру трафика в мультисервисных сетях. Здесь при широком диапазоне скоростей передачи нагрузка является разнородной, поскольку передачу потоков разных приложений и служб обеспечивает одна и та же сеть с едиными протоколами и законами управления. Источники определённой службы характеризуются максимальной и средней скоростями передачи, т.е. коэффициентом пачкования (*burstness*) и средней длительностью пика нагрузки. Например, пачкование для речевых служб возможно из-за пауз в разговоре.

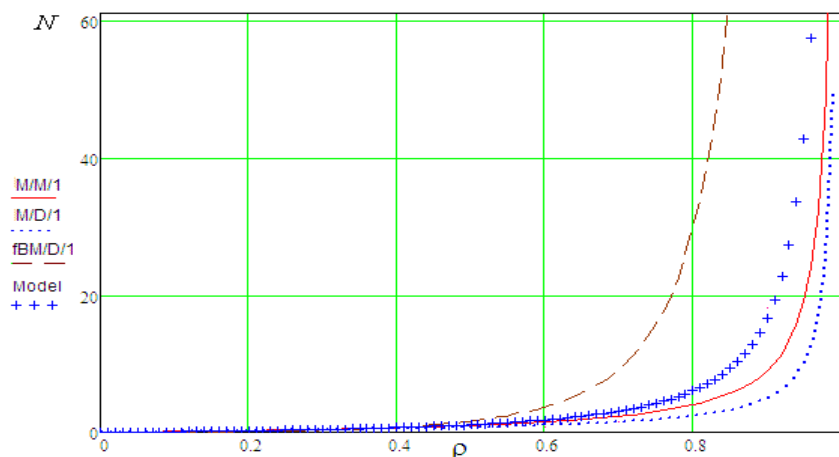


Рисунок 1 – Моделирование N в модели $fBM/D/1/\infty$ при $H = 0,7$

Наиболее известным методом формирования самоподобного потока является метод Мандельброта [7]. Он основан на суперпозиции нескольких независимых и имеющих одинаковое распределение ON/OFF источников, интервалы между ON и OFF периодами которого обладают эффектом Ноа. Эффект Ноа в распределении длительностей ON/OFF периодов является базовым при моделировании самоподобного трафика, синонимом синдрома бесконечной дисперсии. Для достижения эффекта Ноа используют распределения Парето или Вейбулла, часто называемые «распределениями с длинным хвостом». Наличие в распределении «длинного хвоста» обеспечивает свойство пачечности трафика, так как в распределении возрастают вероятности длинных интервалов между событиями.

Плотность распределения Парето задается функцией:

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{b}{x} \right)^{a+1},$$

где a – параметр формы; b – мода распределения (минимальное значение случайной величины x). Причем, при $a \leq 2$ дисперсия бесконечна (что и требуется в качестве одного из условий самоподобности).

При практическом моделировании самоподобного трафика, например, при помощи алгоритма [8], распределение Парето получается путем перехода от равномерного распределения методом обратной функции:

$$Z_i = \frac{b}{\sqrt[a]{U_i}}, \quad (2)$$

где Z_i – i -й интервал между событиями; U – случайное число, равномерно распределенное на интервале $[0, 1]$. Для обеспечения самоподобных свойств моделируемого трафика необходимо задавать значения параметра формы a в пределах от 2 до 1, что обеспечивает значения коэффициента самоподобности Херста в диапазоне $H = 0,5 \dots 1$ соответственно. Кроме того, необходимо каждое полученное значение интервала времени до следующей заявки Z_i уменьшить на величину b для обеспечения реалистичности трафика (распределение Парето не дает величины, меньше b , но реально такие значения могут быть).

Параметр формы a распределения Парето и коэффициент Херста H принято считать [5], что находятся в такой зависимости:

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

Однако, результаты моделирования, представленные на рис. 2, показывают, что для распределения Парето (а также и Вейбулла) нет линейной зависимости (3) коэффициента Херста H от параметра формы a распределения.

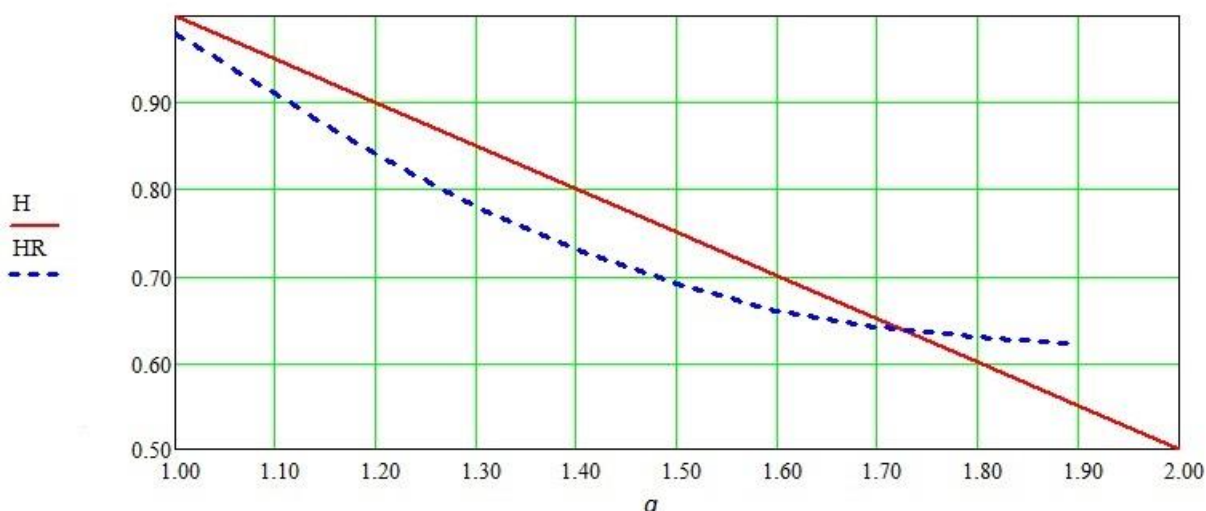


Рисунок 2 – Моделирование коэффициента самоподобности H в модели $fBM/D/1/\infty$

Из рис. 2 видно, что реальный коэффициент Херста HR (пунктирная кривая) зависит от параметра формы a распределения Парето не линейно (сплошная линия), а по закону, близкому к экспонентному.

Таким образом, если реальная статистика трафика (интервал времени между пакетами) аппроксимируется распределением Парето, то для расчета характеристик качества обслуживания по формуле Норроса (1) следует рассчитывать коэффициент самоподобности Херста не по формуле (3), а по формуле аппроксимирующей кривой HR , показанной на рис. 2 штриховой линией. В этом случае точность расчета возрастает на порядок, причем при этом погрешность не превышает 10...20 %.

По результатам имитационного моделирования, осуществленного при помощи алгоритма [8], для расчета коэффициента Херста трафика, описываемого распределением Парето, предложена очень простая формула:

$$H = a^{-0.8}, \quad (4)$$

где a – это параметр формы распределения Парето.

Аппроксимация (4) коэффициента Херста HA (штриховая линия) не полностью соответствует кривой реального изменения коэффициента Херста в зависимости от параметра формы a распределения Парето, но даже и в таком виде обеспечивает точность расчета характеристик качества обслуживания в среднем на порядок высшую, чем при расчетах с использованием формулы (3). При этом погрешность расчета в среднем не превышает 10...50 %.

С учетом указанной аппроксимации при оценке характеристик качества обслуживания достаточно рассчитать через параметр формы распределения Парето a только одну из характеристик, например, среднее количество заявок в системе N :

$$N = \frac{(1 - \rho) \frac{a^{-0.8}}{a^{-0.8} - 1}}{\rho \frac{0.5}{a^{-0.8} - 1}}. \quad (5)$$

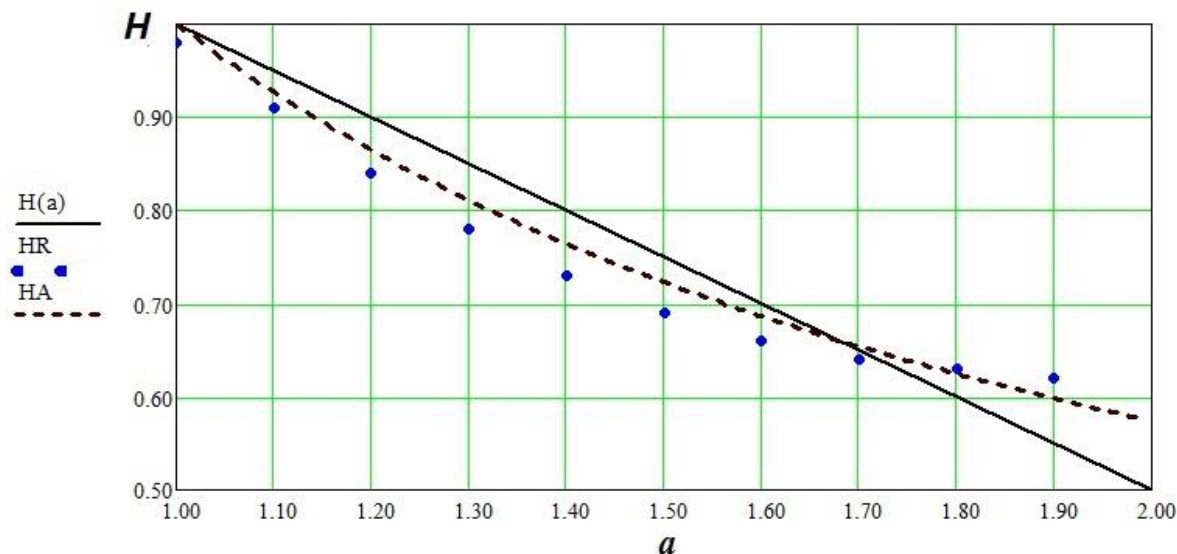


Рисунок 3 – Аппроксимация коэффициента Херста HA в модели $fBM/D/1/\infty$

Остальные характеристики рассчитываются по нижеследующим формулам, поскольку такие характеристики, как среднее количество заявок в очереди Q , среднее время пребывания заявок в системе T и среднее время задержки заявок в системе W связаны с N известными функциональными соотношениями:

$$Q = N - \rho, \quad T = \frac{N}{\rho}, \quad W = T - 1.$$

В заключение следует отметить, что данный метод позволяет рассчитывать характеристики качества обслуживания самоподобного трафика, описываемого распределением Парето, в одноканальной системе $fBM/D/1/\infty$ с дискретным временем обслуживания заявок значительно проще. Эта простота объясняется тем, что для расчета необходимо знать лишь параметр формы a распределения Парето и не надо рассчитывать для трафика достаточно сложным и трудоемким способом (например, методом абсолютных моментов с применением метода наименьших квадратов или каким-либо иным способом) коэффициент самоподобности Херста. При нахождении более точной и соответственно более сложной аппроксимации (4) возможно получение более точных результатов расчета характеристик качества обслуживания самоподобного трафика в системе $fBM/D/1/\infty$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ложковский А.Г. Сравнительный анализ методов расчета характеристик качества обслуживания при самоподобных потоках в сети / А.Г. Ложковский // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. – К., 2008. – Вип. 47. – С. 187-193.
2. Ложковский А.Г. Математическая модель пакетного трафика / А.Г. Ложковский, О.В. Вербанов, В.А. Каптур, В.М. Колчар // Вестник национального политехнического университета «ХПИ». – 2011. – № 9. – С. 113-119.
3. Ложковский А.Г. Оценка параметров качества обслуживания самоподобного трафика энтропийным методом / А.Г. Ложковский, Р.А. Ганифаев // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2008. – № 1. – С. 57-62.
4. Ложковский А.Г. Моделирование трафика мультисервисных пакетных сетей с оценкой его коэффициента самоподобности / А.Г. Ложковский, О.В. Вербанов // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2014. – № 1. – С.70-76.
5. Крылов В.В. Теория телетрафика и её приложения / Крылов В.В., Самохвалова С.С. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.: ил.
6. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input. – Queuing Systems, 1994. – Vol. 16.

7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы // Компьютинг в математике, физике, биологии; пер. с англ. / Б. Мандельброт. – М.: Изд-во Института компьютерных исследований, 2002.
8. Ложковский А.Г. Моделирование многоканальной системы обслуживания с организацией очереди / А.Г. Ложковский, Н.С. Салманов, О.В. Вербанов // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 3/6 (27). – С. 72-76.

REFERENCES:

1. Lozhkovskii A.G. Comparative analysis of methods for calculating the quality of service characteristics with self-similar flows in the network / A.G. Lozhkovskii // Modeling and Information Technologies: Coll. Science. pr. IPM NAS of Ukraine. – K., 2008. – Vol. 47. – P. 187-193.
2. Lozhkovskij A.G. Matematicheskaja model' paketnogo trafika / A.G. Lozhkovskij, O.V. Verbanov, V.A. Kaptur, V.M. Kolchar // Vestnik nacional'nogo politehnicheskogo universiteta «HPI». – 2011. – № 9. – S. 113-119.
3. Lozhkovskii A.G. Entropy method of evaluation of QoS parameters of self-similar traffic / A.G. Lozhkovskii, R.A. Hanyfaev // Scientific works of O.S. Popov ONAT. – 2008. – № 1. – P. 57-62.
4. Lozhkovskij A.G. Modelirovanie trafika mul'tiservisnyh paketnyh setej s ocenкой ego kojefficienta samopodobnosti / A.G. Lozhkovskij, O.V. Verbanov // Zbirnik naukovih prac' ONAZ im. O.S. Popova. – 2014. – № 1. – С.70-76.
5. Krylov V.V., Samohvalova S.S. Teorija teletrafika i ejo prilozhenija. – SPb.: BHV-Peterburg. – 2005. – 288 s.: il.
6. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input. – Queuing Systems, 1994. – Vol. 16.
7. Mandel'brot B. Fraktal'naja geometrija prirody // Komp'juting v matematike, fizike, biologii. Per. s angl. – M.: Izd-vo Instituta komp'juternyh issledovanij, 2002.
8. Lozhkovskii A.G. Simulation of multi-channel queuing system with queuing / A.G. Lozhkovskii, N.S. Salmanov, O.V. Verbanov // Eastern European journal of advanced technologies. – 2007. – № 3 / 6 (27). – P. 72-76.