

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА, АППРОКСИМИРУЕМОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ПАРЕТО

© Ложковский А. Г., Левенберг Е. В., 2017

Модель самоподобного трафика широко используется, однако некоторые задачи оценки качества обслуживания в пакетной сети остаются нерешенными. Известно, 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 Норроса. Расхождение результатов моделирования и оценок, получаемых по методу Норроса, может достигать сотни процентов. Предложен метод повышения точности расчета характеристик качества обслуживания самоподобного трафика за счет более точного нахождения коэффициента Херста в зависимости от параметра формы распределения Парето. Для самоподобного трафика, описываемого распределением Парето, получена новая формула расчета коэффициента Херста. При этом расчет характеристик качества обслуживания можно выполнять на основе формулы Норроса.

Ключевые слова: качество обслуживания, коэффициент Херста, самоподобный трафик.

A. G. Lozhkovskiy, Ye. V. Levenberg

O. S. Popov Odessa national academy of telecommunications

CALCULATION OF THE SELF-SIMILAR TRAFFIC CHARACTERISTICS WHICH IS AN APPROXIMATION TO THE PARETO DISTRIBUTION

© Lozhkovskiy A. G., Levenberg Ye. V., 2017

The model of self-similar traffic is widely used, but some tasks of assessing the quality of service in the packet network are unresolved. It is known that in the presence of self-similarity properties in the incoming stream of requirements with increasing load intensity ρ , the quality of service characteristics deteriorate, but not as much as is assumed by the Norros method. The discrepancy between the results of modeling and estimates obtained by the Norros method is hundreds of percent. It is obvious that the estimate of Norros formula is significantly overestimated, which requires finding a more accurate solution. A method is proposed for increasing the accuracy of calculating the quality characteristics of servicing self-similar traffic due to a more accurate determination of the Hurst coefficient as a function of the parameter of the Pareto distribution form. For the self-similar traffic described by the Pareto distribution, a new formula for calculating the Hurst coefficient is obtained. In this case, the calculation of the quality of service characteristics can be performed on the basis of the Norros formula. The proposed method allows us to calculate the quality of service characteristics of self-similar traffic described by the Pareto distribution in a single-channel system with discrete time of packets service is much simpler. This simplicity is explained by the fact that in order to calculate the self-similarity coefficient of Hurst, you only need to know the parameter a of the Pareto distribution form and you do not have to calculate for this traffic in a very complicated way, for example, using absolute least-squares methods or R/S-statistics.

Key words: quality of service, Hurst coefficient, self-similar traffic.

Введение

Модель самоподобного трафика широко используется, однако ряд задач оценки качества обслуживания в пакетной сети остаются нерешенными. 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 [1–3] 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 Норроса. Расхождение результатов моделирования и оценок, получаемых по методу Норроса, составляет сотни процентов [1]. Очевидно, что оценка Норроса значительно завышена, что требует нахождения более точного решения.

Цель статьи – повышение 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.

Оценка, которую получил Норрос

Для односерверной системы с бесконечной очередью и постоянным временем обслуживания (модель $fBM/D/1/\infty$) известно решение в виде формулы Норроса [4, 5]:

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

где 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 – 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 (т. е. всплески интенсивности, приводящие к пачечности), а также сильное последствие, сильную память, фрактальность (самоподобность), наличие периодических и непериодических циклов (например, из-за особенностей повторных запросов в используемых протоколах передачи).

Несоответствие оценок Норроса

Результаты моделирования, представленные на рис. 1, показывают, что для самоподобного трафика с ростом интенсивности нагрузки ρ ухудшаются характеристики качества обслуживания, но не настолько, как это определяется формулой Норроса. Расхождение результатов моделирования (показаны знаком “+”) и оценок, полученных по формуле (1) (штриховая линия), может достигать сотни процентов. Оценка Норроса сильно завышена и необходимо более точное решение.

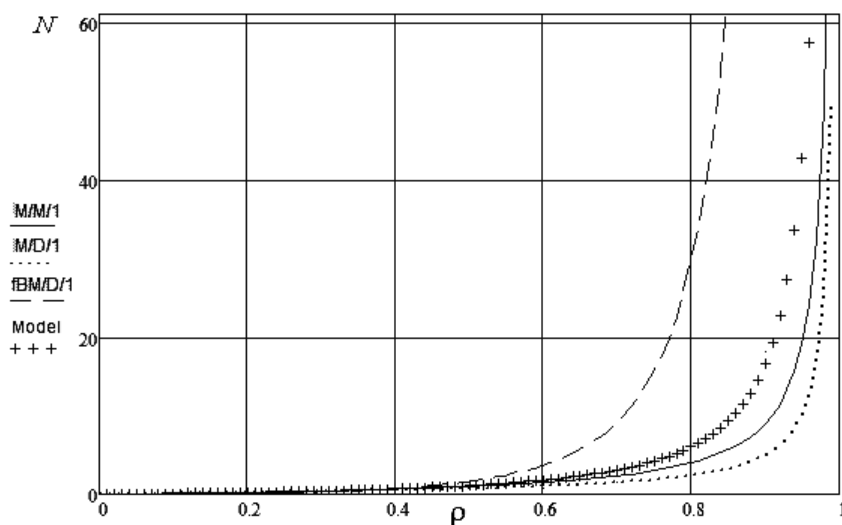


Рис. 1. Моделирование N в модели $fBM/D/1/\infty$ при $H = 0,7$

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 определенной 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.

Наиболее известным методом формирования самоподобного потока является метод Мандельброта [6]. 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 для моделирования самоподобного трафика. Эффект Ноа является синонимом синдрома бесконечной дисперсии. Для достижения эффекта Ноа используют распределение Парето, часто называемое “распределениями с длинным хвостом”. Наличие в распределении “длинного хвоста” обеспечивает свойство пачечности трафика, так как в распределении возрастают вероятности очень коротких и очень длинных интервалов между пакетами.

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 как одно из условий самоподобности).

При практическом моделировании самоподобного трафика, например, при помощи алгоритма [7], распределение Парето получается путем перехода от равномерного распределения методом обратной функции:

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

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, меньшие b , но реально такие значения возможны).

Моделирование и аппроксимация коэффициента самоподобности

Принято считать [5], что существует такая зависимость между параметром формы a распределения Парето и коэффициентом Херста H такая зависимость:

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

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

Из рис. 2 видно, что реальный коэффициент Херста H_R (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 H_R , показанной на рис. 2 штриховой линией. В этом случае точность расчета возрастает на порядок, причем погрешность не превышает 10...20 %.

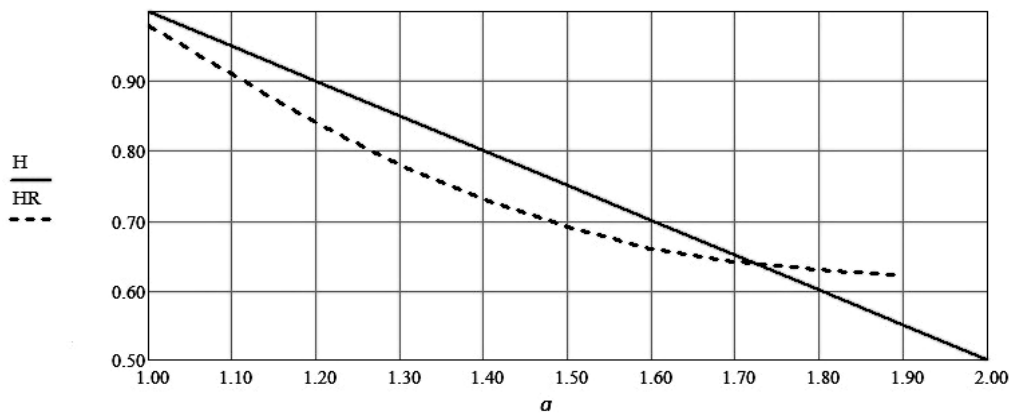


Рис. 2. Моделирование коэффициента самоподобности H

По результатам имитационного моделирования, осуществленного при помощи алгоритма [7], для расчета коэффициента Херста трафика, описываемого распределением Парето, предложена очень простая формула:

$$H = a^{-0,78}, \quad (4)$$

где a – параметр формы распределения Парето.

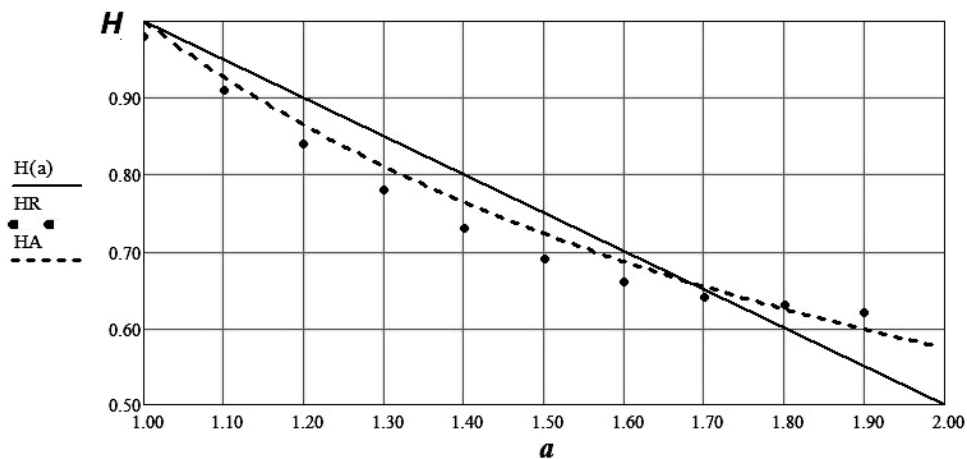


Рис. 3. Аппроксимация коэффициента Херста HA

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), а 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 :

$$N = \frac{\frac{a^{-0,78}}{(1-r)^{a^{-0,78}-1}}}{\frac{0,5}{r^{a^{-0,78}-1}}}. \quad (5)$$

Остальные характеристики рассчитывают 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:

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

Вывод

Предложенный метод позволяет значительно проще рассчитывать характеристики качества обслуживания самоподобного трафика, описываемого распределением Парето, в одноканальной системе $fBM/D/1/\infty$ с дискретным временем обслуживания заявок. Эта простота объясняется тем, что для расчета необходимо знать лишь параметр a формы распределения Парето и не надо рассчитывать для этого трафика достаточно сложным и трудоемким способом, например, методом абсолютных моментов с применением метода наименьших квадратов или методом R/S-статистики, коэффициент самоподобности Херста. Используя реальные функциональные зависимости коэффициента H от параметра a формы распределения Парето, можно повысить точность расчета характеристик обслуживания качества на порядок.

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. 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. 4. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телетрафика и её приложения / Крылов В. В., Самохвалова С. С. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 288 с.: ил. 5. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input. – *Queueing Systems*, 1994. – Vol. 16. 6. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы // *Компьютинг в математике, физике, биологии; пер. с англ. Б. Мандельброт* – М.: Изд-во Института компьютерных исследований, 2002. 7. 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. Lozhkovskiy A. G., 2008, *Сравнительный анализ методов расчета характеристик качества обслуживания при самоподобных потоках в сети* [Comparative analysis of methods for calculating the quality of service characteristics with self-similar flows in the network], *Modeling and Information Technologies: Coll. Science. pr. IPM NAS of Ukraine.*, 47, 187–193. 2. Lozhkovskiy A. G., Verbanov O. V. & Kolchar V. M., 2011, *Математическая модель пакетного трафика* [Mathematical model of packet traffic], *Bulletin of the National Polytechnic University “HPI”*, 9, 113–119. 3. Lozhkovskiy A. G. & Verbanov O. V., 2014, *Моделирование трафика мультисервисных пакетных сетей с оценкой его коэффициента самоподобности* [Modeling the traffic of multiservice packet networks with an estimate of its self-similarity coefficient], *Collection of scientific works O. S. Popov ONAT*, 1, P. 70–76. 4. Krylov V. V. & Samohvalova S. S., 2005, *Teletraffic theory and its applications*, SPb.: BHV-Peterburg, 288 p. 5. Norros Ilkka, 1994. A storage model with self-similar input. *Queueing Systems*, 16. 6. Mandelbrot B., 2002, *Fractal Geometry of Nature* // *Computing in mathematics, physics, biology. transl.*, M.: Publishing house of the Institute of Computer Research. 7. Lozhkovskiy A. G., Salmanov N. S. & Verbanov O. V., 2007, *Моделирование многоканальной системы обслуживания с организацией очереди* [Simulation of multi-channel queuing system with queuing], *Eastern European journal of advanced technologies*, 3/6(27), 72–76.