УДК 621.39

А.Г. ЛОЖКОВСКИЙ, К.Д. ГУЛЯЕВ
Одесская национальна академия связи им. А.С. Попова

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА, АППРОКСИМИРУЕМОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВЕЙБУЛЛА

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 Вейбула. Поскольку самоподобный трафик (интервал времени между заявками) лучше всего описывается распределением Вейбулла, то именно для него получена новая формула расчета коэффициента самоподобности трафика. При этом расчет характеристик качества обслуживания можно выполнять на основе формулы Норроса, которая справедлива для модели fBM/D/1/∞.

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

A.G. LOZHKOVSKII, K.D. HULYAYEV
O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications

CALCULATION CHARACTERISTICS OF THE SELFSIMILAR TRAFFIC WHICH IS AN APPROXIMATION TO THE WEIBULL DISTRIBUTION

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 Weibull distribution. Since similar traffic (time interval between requests) best describes the Weibull distribution, it is for him gived 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/∞.

Keywords: 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 остается 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 [1–4] 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 Норроса [5]. 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.

Целью данной статьи является повышение точности расчета характеристик качества обслуживания путем получения новой формулы расчета коэффициента самоподобности трафика в зависимости от параметра формы распределения Вейбулла, т.к. самоподобный трафик (интервал времени между заявками или пакетами потока) может хорошо описываться распределением Вейбулла.

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

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

Здесь N – 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 свойства, как кластерность, тенденцию следовать по направлению тренда (персистентность) и быструю перемежаемость последовательных значений интенсивности трафика (всплески интенсивности, приводящие к пачечности), сильные последействие и память, фрактальность (самоподобность), наличие периодических и непериодических циклов (из-за особенностей используемых протоколов передачи пакетного трафика).

Результаты моделирования, представленные на рис.1 показывают, что при самоподобном трафике с ростом интенсивности нагрузки ρ ухудшаются характеристики качества обслуживания, но не настолько, как это установлено формулой Норроса. Расхождение результатов моделирования (показаны знаком «+») и оценок, полученных по формуле (1) (показаны штриховой линией) может достигать сотни процентов. Оценка Норроса сильно завышена и необходимо 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.

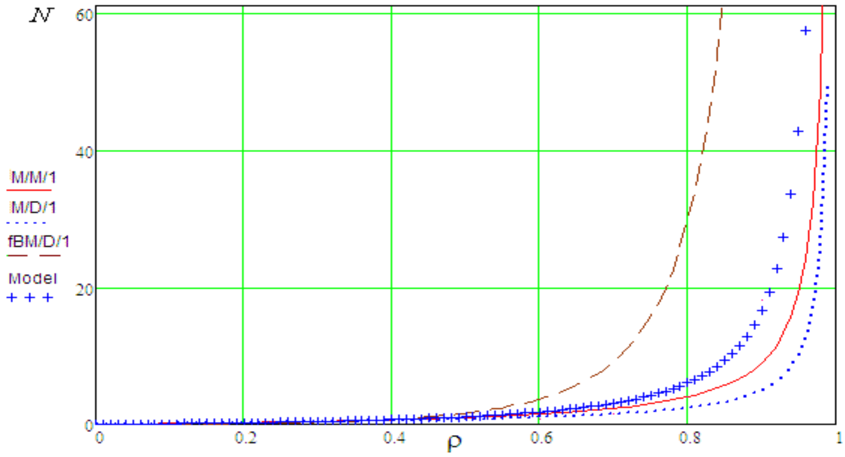

Рис. 1. Моделирование *N* в модели *fBM*/*D*/1/∞ при *H* = 0,7

Известен метод формировании самоподобного потока методом 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. Эффект Ноа является 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, а также для их компенсации возрастают и вероятности очень коротких интервалов.

Плотность распределения Вейбулла задается функцией:

$$\lambda_0 a x^{a-1} e^{-\lambda_0 x^a},$$

где a – параметр формы; λ_0 – коэффициент масштаба.

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

$$X_i = \left(-\frac{1}{\lambda 0}\ln U_i\right)^{1/a}, \quad (2)$$

где X_i – i-й интервал между заявками потока; U – случайное число, равномерно распределенное на интервале [0, 1]. Для обеспечения самоподобных свойств моделируемого трафика необходимо задавать значения параметра формы a в пределах от 1 до 0, что должно обеспечивать значения коэффициента самодобности Херста в диапазоне $H = 0{,}5\ldots1$ соответственно.

Параметр формы a распределения Вейбулла и коэффициент Херста H принято считать [6], что находятся в такой зависимости:

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

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

Из рис. 2 видно, что реально коэффициент Херста HR (пунктирная кривая) зависит от параметра a формы распределения Вейбулла не линейно (сплошная линия), а по закону, близкому к экспонентному. Если реальная статистика трафика (интервал времени между запросами или пакетами) аппроксимируется распределением Вейбулла, то для формулы Норроса (1) надо рассчитывать коэффициент самоподобности Херста не по формуле (3), а по формуле аппроксимирующей кривой HR, показанной на рис. 2 пунктирной линией. При этом точность расчета (1) существенно возрастает, поскольку, например, из (3) следует, что при $a = 0{,}3$ коэффициент $H = 0{,}85$, а фактически $H = 0{,}6$, что на 40% меньше.

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

$$Hw = 1{,}2e^{-9a} + 0{,}51. \tag{4}$$

где a – это параметр формы распределения Вейбулла.

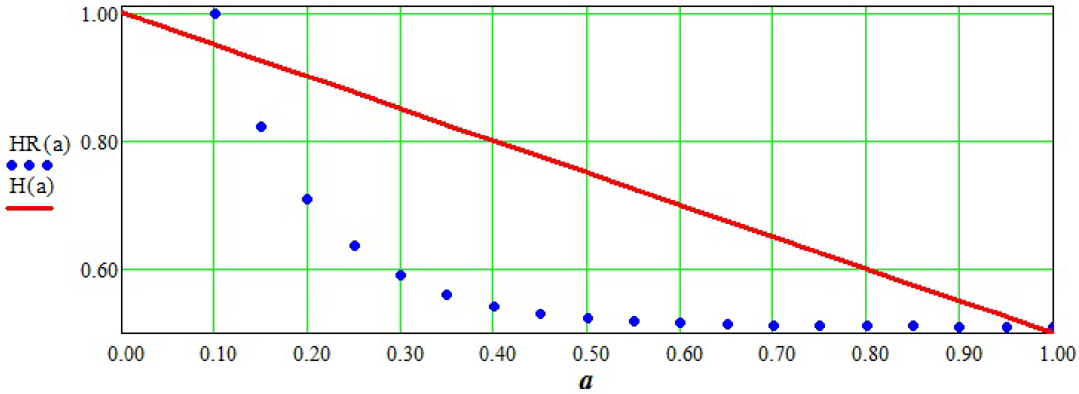

Рис. 2. Моделирование коэффициента самоподобности *HR* в модели *fBM*/*D*/1/∞

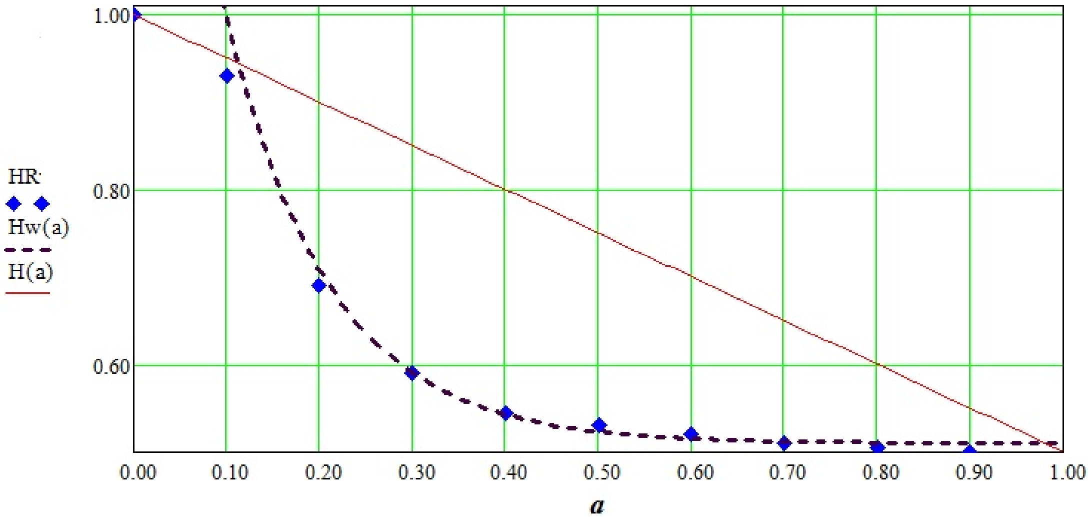

Рис. 3. Аппроксимация коэффициента Херста *HR* в модели *fBM*/*D*/1/∞

Аппроксимация (4) коэффициента Херста *HR* (штриховая линия), приведенная на рис.3, хотя и не полностью соответствует кривой реального изменения коэффициента Херста в зависимости от параметра a формы распределения Вейбулла, но обеспечивает точность расчета характеристик качества обслуживания на порядок выше, чем при расчетах с использованием формулы (3). При этом погрешность расчета в среднем не превышает 10…20 %.

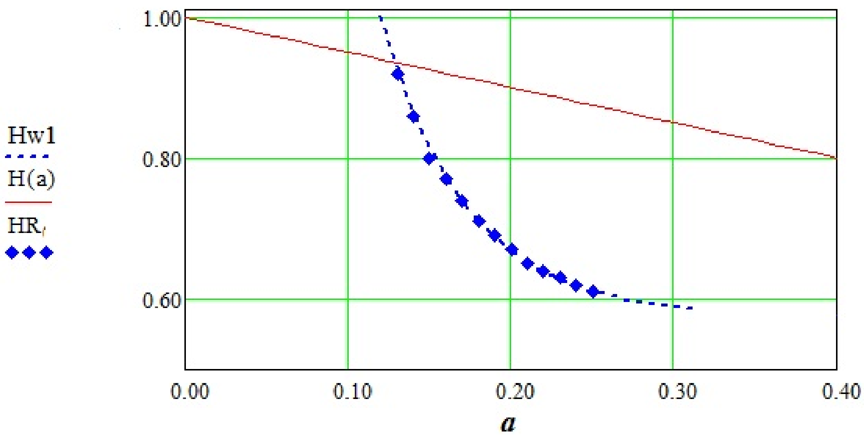

Рис. 4. Аппроксимация коэффициента Херста *HR* при *H* = 0,6…0,9

На рис. 4 для диапазона значений коэффициента H = 0,6…0,9 приведена аппроксимация вида

$$Hw1 = 4{,}1e^{-19a} + 0{,}57, \tag{5}$$

которая обеспечивает еще более точный расчет коэффициента Херста H в зависимости от параметра a формы распределения Вейбулла. Именно в этом диапазоне находятся значения коэффициентов H реального самоподобного трафика пакетных сетей связи.

С учетом данной аппроксимации при оценке характеристик качества обслуживания достаточно рассчитать через параметр a формы распределения Вейбулла только одну из характеристик, например, среднее количество заявок в системе N по формуле (1). Все оставшиеся характеристики QoS 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:

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

В заключение следует отметить, что данный метод позволяет рассчитывать характеристики качества обслуживания самоподобного трафика, описываемого распределением Вейбулла, 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 a формы распределения Вейбулла и нет необходимости рассчитывать для трафика достаточно сложным и трудоемким способом (например, методом R/S-статистики) коэффициент самоподобности Херста. Все приведенные графики демонстрируют существенное отличие реальной (5) и используемой сейчас линейной зависимости (3) коэффициента самоподобности H от параметр a формы распределения Вейбулла в системе $fBM/D/1/\infty$ с трафиком, описываемым этим распределением. Использование реальной функциональной зависимости H и a позволяет повысить точность расчета характеристик качества обслуживания на порядок.

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. Ложковський А.Г. Моделирование трафика мультисервисных пакетных сетей с оценкой его коэффициента самоподобности / А.Г. Ложковський, О.В. Вербанов // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2014. – № 1. – С.70-76.

5. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input. – Queuing Systems, 1994. – Vol. 16.

6. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и её приложения. Крылов В.В., Самохвалова С.С. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 288 с.: ил.

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. – K.: 2008. – 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. Lozhkovs'kij A.G. Modelirovanie trafika mul'tiservisnyh paketnyh setej s ocenkoj ego kojefficienta samopodobnosti / A.G. Lozhkovs'kij, O.V. Verbanov // Zbirnik naukovih prac' ONAZ im. O.S. Popova. – 2014. – № 1. – С.70-76..

5. Norros Ilkka. A storage model with self-similar input. – Queuing Systems, 1994. – Vol. 16.

6. Krylov V.V, Samohvalova S.S. Teorija teletrafika i prilozhenija. – SPb.: BHV-Peterburg. – 2005. – 288 s.

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.

Рецензія/Peer review : 15.5.2015 р. Надрукована/Printed :25.6.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією