

УДК 621. 39

Ложковский А.Г.¹, Керимов Э.И.², Вербанов О.В.³

^{1,3}Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова, Одесса, Украина

³Министерство Связи и Высоких Технологий Азербайджана, Баку, Азербайджан

^{1,3}aloshk@onat.edu.ua, ²kerimov@mincom.gov.az

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 Вейбулла. 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 Норрса, которая справедлива для модели $fBM/D/1/\infty$.

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

Введение

Несмотря на популярность модели самоподобного трафика, до сих пор 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 [1–4] 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 [5]. Расхождение результатов моделирования и оценок, получаемых по методу Норрса, составляет сотни процентов [1]. Очевидно, что оценка Норрса значительно завышена, что требует нахождения более точного решения.

Постановка задачи

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 Норрса [5, 6]:

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

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, тенденция следовать по направлению тренда (персистентность) и быстрая перемежаемость последовательных значений интенсивности трафика (всплески интенсивности, приводящие к пачечности), сильные последствие 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.

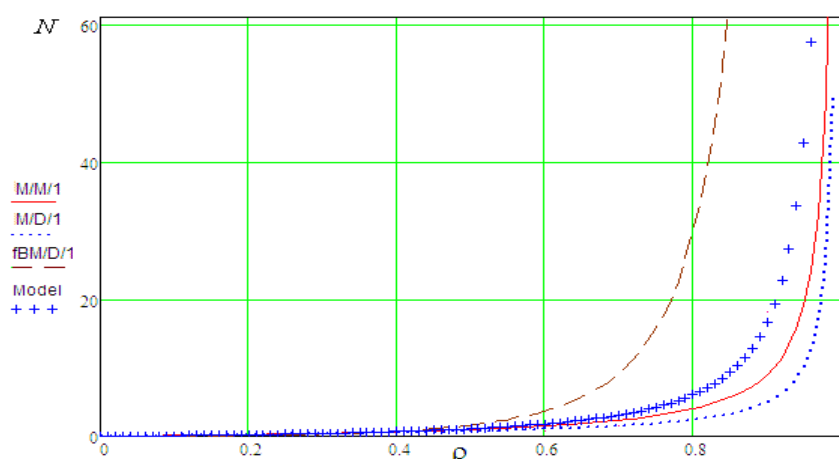


Рис. 1. Моделирование N в модели $fBM/D/1/\infty$ при $H = 0,7$

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.

Решение задачи

Известен метод формирования 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 самоподобности Херста в диапазоне $H = 0,5 \dots 1$ соответственно.

Принято считать [6], что параметр формы a распределения Вейбулла и коэффициент Херста H 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.

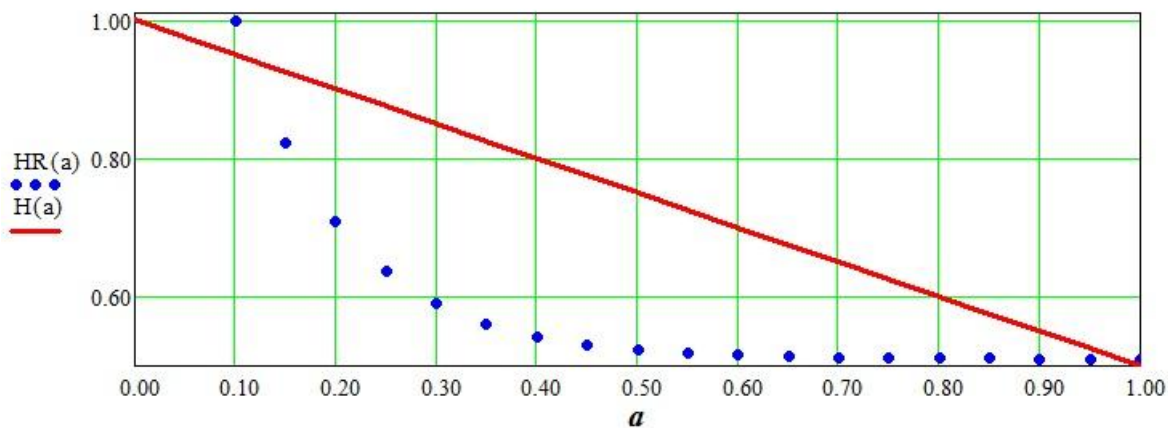


Рис. 2. Моделирование коэффициента самоподобности HR в модели $fBM/D/1/\infty$

Из рис. 2 видно, что реально коэффициент Херста HR (пунктирная кривая) зависит от параметра a формы распределения Вейбулла нелинейно (сплошная линия), по закону, близкому к экспонентному. Если реальная статистика трафика (интервал времени между запросами или пакетами) аппроксимируется распределением Вейбулла, то для формулы Норрса (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:

$$H_w = 1,2e^{-9a} + 0,51, \quad (4)$$

где a – это параметр формы распределения Вейбулла.

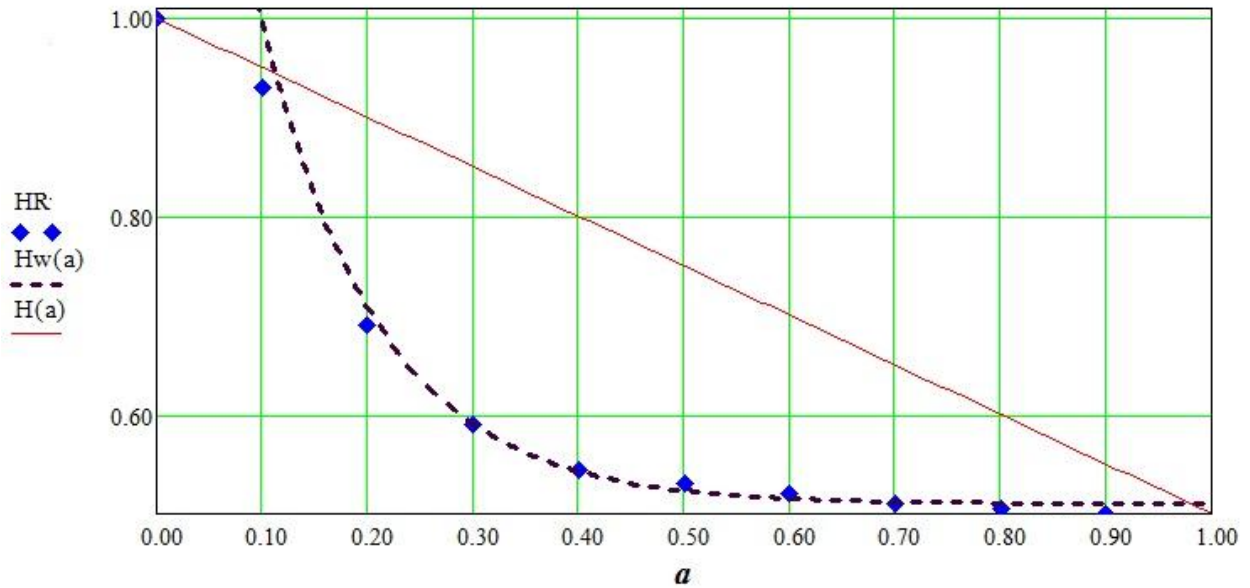


Рис. 3. Аппроксимация коэффициента Херста HR в модели $fBM/D/1/\infty$

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%.

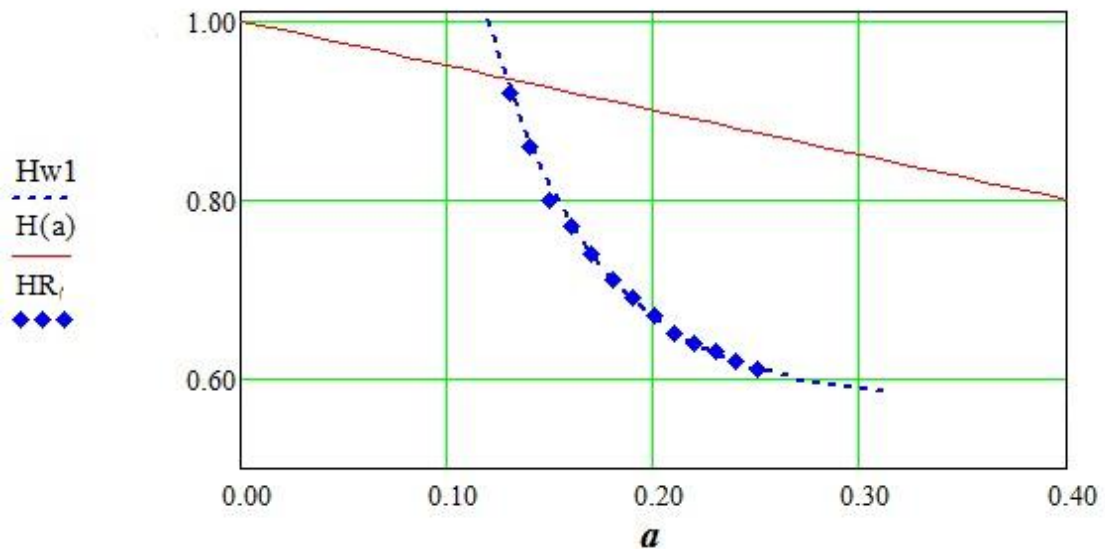


Рис. 4. Аппроксимация коэффициента Херста HR при $H = 0,6...0,9$

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

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

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

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

Заключение

Следует отметить, что данный метод позволяет рассчитать характеристики качества обслуживания самоподобного трафика, описываемого распределением Вейбулла, в одноканальной системе $fBM/D/1/\infty$ с дискретным временем обслуживания заявок он 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 параметра 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., Вербанов О.В., Каптур В.А., Колчар В.М. Математическая модель пакетного трафика // Вестник национального политехнического университета «ХПИ», 2011, № 9, с.113–119.
3. Ложковский А.Г., Ганифаев Р.А. Оценка параметров качества обслуживания самоподобного трафика энтропийным методом // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2008, № 1, с. 57–62.
4. Ложковский А.Г., Вербанов О.В. Моделирование трафика мультисервисных пакетных сетей с оценкой его коэффициента самоподобности // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2014, № 1, с.70–76.
5. Norros Pkka. A storage model with self-similar input, *Queueing Systems*, 1994, vol.16, no.3, pp.387–396.
6. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. СПб.: БХВ-Петербург, 2005, 288 с.
7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы // Компьютинг в математике, физике, биологии; пер. с англ. Б.Мандельброт, М.: Изд-во Института компьютерных исследований, 2002, 655 с.
8. Ложковский А.Г., Салманов Н.С., Вербанов О.В. Моделирование многоканальной системы обслуживания с организацией очереди // Восточноевропейский журнал передовых технологий, 2007, №3/6 (27), с.72–76.

Lojkovskiy Anatoliy Q.¹, Kərimov Ehtiram İ.², Verbanov Oleq V.³

^{1,3} O.S.Popov adına Odessa Milli Telekommunikasiya Akademiyası, Odessa, Ukrayna

² Rabitə və yüksək texnologiyalar nazirliyi, Bakı, Azərbaycan

^{1,3} aloshk@onat.edu.ua, ² kerimov@mincom.gov.az

Veybul paylanması ilə approksimasiya olunan özünəoxşar trafikə xarakteristikalarının hesablanması

Veybul paylanması formasının parametrlərindən asılı olaraq Hörst əmsalının daha dəqiq tapılması hesabına özünəoxşar trafikə məxsus şəbəkələrdə xidmət keyfiyyəti xarakteristikalarının hesablanması dəqiqliyinin artırılması metodları tədqiq olunmuşdur. Veybul paylanması vasitəsi ilə özünəoxşar trafik (sorgulararası zaman intervalı) daha yaxşı təsvir olunur və məhz onun üçün trafikə özünəoxşarlıq əmsalının hesablanmasının yeni düsturu alınmışdır. Belə ki, xidmət keyfiyyəti xarakteristikalarının hesablanmasını $fBM/D/1/\infty$ modeli üçün doğru olan Horros düsturu əsasında yerinə yetirmək olar.

***Açar sözlər:** telekommunikasiya sistemləri və şəbəkələri, layihələndirmə və hesablama üsulları, özünəoxşar trafik, Veybul paylanması.*

Anatoliy G. Lozhkovskiy, Ehtiram I. Kerimov, Oleq V. Verbanov

^{1,3} Odessa National Academy of Telecommunications O.S. Popov, Odessa, Ukraina

² Ministry of Telecommunications and high technologies, Baku, Azerbaijan

^{1,3} aloshk@onat.edu.ua, ² kerimov@mincom.gov.az

Calculation characteristics of the self-similar traffic approximated by the Weibull distribution

The article studies the 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 parameters of Weibull distribution form. Since the self-similar traffic (time interval between the requests) best describes the Weibull distribution, it is provided a new formula for the calculation of the self-similarity coefficient of traffic. The calculation of the characteristics of service quality can be performed based on the Norros formula, which is valid for the model $fBM/D/1/\infty$.

***Keywords:** telecommunication systems and networks, calculation and projecting methods, self-similar traffic, Weibull distribution.*