О возможности использования групповых пуассоновских потоков в имитационном моделировании

Б.Я. Лихтциндер
Поволжский университет телекоммуникаций и информатики,
Самара, Россия
lixt@psuti.ru

В. И. Моисеев
Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия.
vim@psu.ru

А.Ю. Привалов
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
privalov1967@gmail.com

***Аннотация* — Рассматривается применение групповых пуассоновских потоков для моделирования очередей, образуемых реальным видеотрафиком при передаче в сети связи. Изучается возможность использования таких потоков для получения очередей со средним и дисперсией, близкими к очередям, образуемым реальным трафиком. Показано, что подбором параметров группового пуассоновского потока можно гораздо лучше приблизить эти характеристики, чем с помощью обычного пуассоновского потока.**

Ключевые слова — групповые пуассоновские потоки, системы массового обслуживания, вторые моменты, коэффициент загрузки, очереди.

I. Введение

Как было отмечено в [1] (см. также [4,6]), одной из популярных моделей пакетного трафика, сочетающего в себе простоту анализа, свойственную классическим Пуассоновским моделям и возможность учёта пачечного характера современного пакетного трафика являются неординарные потоки Пуассона. Они являются альтернативой моделям, учитывающим фрактальные свойства потоков, которые, в виду весьма высокой сложности, нашли ограниченное применение на практике. Этапы развития указанных моделей представлены в обзоре [2], а самые популярные их виды рассмотрены в [3, 8-11]. В [12] приведён обзор перспективных методов, использующих машинное обучение, обладающих лучшей точностью, но требующих вычислительных затрат, несравнимых с рассматриваемым в докладе методом.

В работе [1] с помощью интервального метода (см. [5-7]) были получены аналитические выражения для зависимостей средней очереди и дисперсии очереди в одноканальной системе массового обслуживания (СМО) с входным потоком, являющимся пуассоновским групповым потоком, от загрузки системы. В предлагаемой работе мы будем использовать эти результаты для приближения данных зависимостей к аналогичным зависимостям, полученным для реального видеотрафика, путём подбора параметров потока. При таком подходе удаётся приблизить эти характеристики к характеристикам реальной очереди гораздо лучше, чем это получается для обычного (ординарного) пуассоновского потока, что имеет большое значение при использовании таких потоков в системах имитационного моделирования.

II. Аналитические результаты для группового пуассоновского потока

Рассматривается групповой пуассоновский поток с интенсивностью λ, в котором вместо одиночных заявок прибывают пачки одинаковых заявок по B штук в каждой, где B – константа, параметр оптимизации. Это входной поток для СМО G/D/1 с дисциплиной обслуживания FCFS и временем обслуживания τ.

Пусть $A(\tau)$ – случайная величина, равная количеству пришедших заявок на интервале τ. Из результатов [1] нетрудно получить, что $\mathbf{M}(A(\tau))=\lambda\tau B=\rho$, $\mathbf{D}(A(\tau)) = \lambda\tau B^2=\rho B$, $\boldsymbol{\mu}_3(A(\tau))=\lambda\tau B^3=\rho B^2$. Также в [1] с использованием интервального метода анализа показано, что для случайной величины Q, равной очереди в системе в стационарном режиме в случайный момент времени

$$\mathbf{M}(Q)= \mathbf{D}(A(\tau))/(2(1-\rho)) - \rho/2 \quad (1)$$

$$\mathbf{D}(Q) = (\mathbf{D}(A(\tau)) - \rho(1-\rho))(\mathbf{D}(A(\tau)) +2-3\rho+ \rho^2)/(4(1-\rho)^2) + \\ + (\rho^3+3\,\mathbf{D}(A(\tau))\rho -3\,\mathbf{D}(A(\tau)) -3\rho^2 +2\rho)/(3(1-\rho)) + \\ + \boldsymbol{\mu}_3(A(\tau)) / (3(1-\rho)) \quad (2)$$

При B=1 это даёт формулы для обычного (ординарного) пуассоновского пока:

$$\mathbf{M}(Q)= \rho^2/(2(1-\rho)),\ \ \mathbf{D}(Q)=(1-\rho/3-\rho^2/6)\,\rho^2/(2(1-\rho)^2). \quad (3)$$

III. Аппроксимация очередей реального видеотрафика

В качестве реального трафика в данной работе использовался трафик от видеокодека стандарта H264-1000. Файл трассы трафика с временами прибытия и величиной пакетов (в битах) использовался как источник входного потока в системе имитационного моделирования. Этот входной поток поступал в систему массового обслуживания с одним прибором. При этом скорость обслуживания выбиралась таким образом, чтобы обеспечить заданную загрузку прибора ρ. Размер образующейся очереди измерялся в пакетах, имеющих средний размер (усреднение проводилось по всей трассе). Для ряда значений ρ в диапазоне от 0.05 до 0.9 в результате имитационного эксперимента определялась величина средней по реализации очереди $\mathrm{M}(Q^*(\rho_i))$, i=1,…N_M и дисперсия очереди $\mathrm{D}(Q^*(\rho_j))$, j=1,...N_D.

Для тех же значений ρ рассчитывались по формуле (1) значения $\mathbf{M}(Q(\rho_i))$, i=1,…N_M и по формуле (2) $\mathbf{D}(Q(\rho_j))$, j=1,...N_D. Для метода наименьших квадратов использовалась целевая функция от параметра B

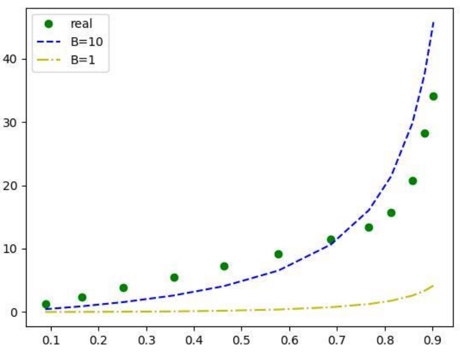

Рис. 1. Зависимость срденей очереди от загрузки прибора

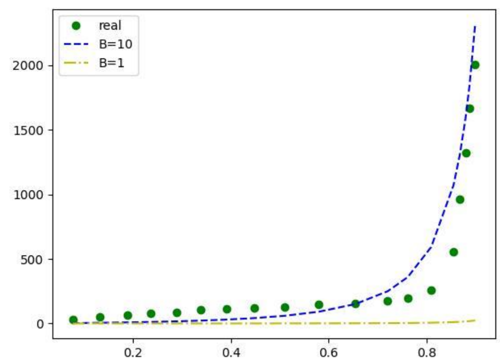

Рис. 2. Зависимость дисперсии очереди от загрузки прибора

$$J(B)=\sum (\mathrm{M}(Q^*(\rho_i)) - \mathbf{M}(Q(\rho_i)))^2 + \\ +\sum (\mathrm{D}(Q^*(\rho_j)) - \mathbf{D}(Q(\rho_j)))^2 \qquad (4)$$

где суммирование в каждой из сумм производится по всем i и j соответственно. Она численно минимизировалась по B при условии сохранения заданного ρ (то есть, при изменении B соответствующим образом изменялось λ).

Результаты проведённых расчётов приведены на рис. 1 и 2. Графики формул (1) и (2) изображены для целого B, наиболее близкого к аргументу минимума (4). Там же для сравнения изображены графики зависимостей от ρ средней очереди и дисперсии очереди соответственно, для ординарного пуассоновского потока, т.е. для B=1 (формулы (3)).

Очевидно, что при пуассоновском потоке с групповым прибытием можно приблизить зависимости средней очереди и дисперсии очереди гораздо лучше, чем ординарным пуассоновским потоком, однако отличия все-таки заметны.

Подобные результаты были получены и для трафиков других видеокодеков семейства H264.

Кроме этого, мы проводили аналогичные вычислительные эксперименты в случае, когда размер пачки в групповом пуассоновском потоке не постоянен, а может принимать с некоторой вероятностью два различных значения. Параметрами оптимизации в этом случае были размеры пачек и их вероятности. Но это не привело к заметному улучшению результата.

IV. Заключение

Представлен метод аппроксимации средней очереди и дисперсии очереди в СМО для реального трафика при произвольных коэффициентах загрузки пуассоновским потоком с групповым прибытием. В сравнении с ординарным пуассоновским потоком, предложенная аппроксимация гораздо лучше.

Литература

[1] Лихтциндер, Б.Я. Вторые моменты очередей в системах массового обслуживания с групповыми пуассоновскими потоками / Б.Я. Лихтциндер, В.И. Моисеев, А.Ю. Привалов // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ). Сборник трудов по материалам IX Международной конференции и молодежной школы, Самара: 2023. – С. 050192

[2] Вишневский, В.М. Системы массового обслуживания с коррелированными входными потоками и их применение для моделирования телекоммуникационных сетей / В.М. Вишневский, А.Н. Дудин //Автоматика и телемеханика. – 2017. – Т. 8. – С. 3–59.

[3] Neuts, M.F. Versatile Markovian point process // Journal of Applied Probability. – 1979. – Vol. 16(4). – P. 764-779. DOI: https://doi.org/10.2307/3213143.

[4] Дудин, А.Н. Системы массового обслуживания с коррелированными потоками. / А.Н. Дудин, В.И. Клименок – Минск: БГУ, 2000. – 175 с.

[5] Лихтциндер, Б.Я. Трафик мультисервисных сетей доступа (интервальный анализ и проектирование) / Б.Я. Лихтциндер – М.: Горячая линия - Телеком, 2018. – 290 с.

[6] Likhttsinder, B.Ya. Models of group Poisson flows in teltcommunicftions traffic control. / B.Ya. Likhttsinder, Yu.O. Bakay // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, – 2020. – Т. 28, № 3, – С. 75-89.

[7] Likhttsinder, B. Ya. Queue Analysis for Video Traffic Using the Generalized Interval Method. / B. Ya. Likhttsinder, E.V. Kitaeva, A. Yu. Privalov // 2022 VIII International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT), – IEEE Xplore. — 2022. Vol. 4.

[8] Ramaswami, V. The N/G/1 queue and its detailed analysis // Advances in Applied Probability. – 1980. – Vol. 12(1). – P. 222–261. DOI: https://doi.org/10.2307/1426503.

[9] Lakatos, L. Introduction to Queueing Systems with Telecommunication Applications./ L. Lakatos, L. Szeidl, M. Telek – Springer Science+Business Media., 2013. – 388 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5317-8.

[10] Singh, G. Detailed computational analysis of queueingtime distributions of the BMAP/G/1 queue using roots / G. Singh, U.C. Gupta, M.L. Chaudhry // J. Appl. Probab. – 2016. – Vol. 53. – P. 1078–1097.

[11] Dudin, A.N. Queue with group admission of customers / A.N. Dudin, R. Piscopo, R. Manzo // Comput. Oper. Res. – 2015. – Vol. 61. – P. 89–90.

[12] Vishnevsky, V. Application of Machine Learning Methods to Solving Problems of Queuing Theory / V. Vishnevsky, A.V. Gorbunova, A. Dudin, A. Nazarov, A. Moiseev // Information Technologies and Mathematical Modelling. Queueing Theory and Applications. – 2022. – Vol. 1605. – P. 304-316. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09331-9_24