

11. Tarasov V.N. Extension of the class of queuing systems with delay. *Avtomatika i Telemekhanika*, 2018, no.12, pp. 57–70. (In Russ.)
12. Tarasov V.N., Bakhareva N.F. The outwork of interactive system for stochastic systems probability modeling. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2003, vol. 5, no. 1, pp. 119–126. (In Russ.)
13. Myskja A. An improved heuristic approximation for the GI/GI/1 queue with bursty arrivals. *Teletraffic and Datatraffic in a Period of Change*, ITC-13, 1991, pp.683–688.
14. Whitt W. Approximating a point process by a renewal process: two basic methods. *Operation Research*, 1982, vol. 30, no. 1, pp. 125–147.
15. Gromoll H.C., Terwilliger B., Zwart B. Heavy traffic limit for a tandem queue with identical service times. *Queueing Systems*, 2018, vol. 89, no. 3, pp. 213–241.
16. Legros B. M/G/1 queue with event-dependent arrival rates. *Queueing Systems*, 2018, vol. 89, no. 3, pp. 269–301.

Received 17.07.2023

УДК 621.391

АЛГОРИТМЫ ГЕНЕРАЦИИ ГРУППОВЫХ ПОТОКОВ СЛУЧАЙНЫХ СОБЫТИЙ

Лихтциндер Б.Я.¹, Моисеев В.И.²

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

² Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, РФ

E-mail: lixt@psuti.ru, vim@psu.ru

В работе рассматриваются алгоритмические методы анализа систем массового обслуживания. Созданию программной реализации всегда предшествует разработка некоторой алгоритмической модели объекта или процесса. Арсенал алгоритмов объединяет как непрерывные, так и дискретные логические функции, что существенно расширяет возможности алгоритмических методов, по сравнению с аналитическими. Потоки пакетов в мультисервисных телекоммуникационных сетях носят явно выраженный пачечный характер и существенно отличаются от пуассоновских. Вся стройная аналитическая теория, справедливая для пуассоновских потоков, к сожалению, для пачечных потоков становится непригодной. Реальные результаты для систем массового обслуживания с пачечными потоками удастся получить с помощью имитационного моделирования, для чего требуются знания и умения алгоритмизации моделируемых процессов. В работе рассмотрены способы генерации пуассоновских, групповых пуассоновских потоков, показаны результаты моделирования групповых пуассоновских потоков. Рассмотрен программный инструмент - конвертор и приведены примеры генерации пачечных потоков с различными структурами пачек. Проведен анализ алгоритмических моделей систем массового обслуживания для различных дисциплин обслуживания. Отмечена необходимость дальнейшего развития алгоритмической теории систем массового обслуживания.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, групповые потоки заявок, анализ, генерация, алгоритмы, трудоемкость алгоритмов, данные, конвертор потоков

Введение

Недостаточная эффективность представления трафика мультисервисных сетей моделями «самоподобных» процессов привела к созданию класса моделей потоков, управляемых цепью Маркова. Этапы развития указанных моделей представлены в [1]. В нашей стране они были названы МС-потоками, а в США эволюционировали от «разносторонних (versatile) потоков», через «N-потоки (потоки Ньютона)» [2] до марковских входных потоков (MAP – Markovian Arrival Process) и их обобщений – групповых Марковских входных потоков (BMAP – Batch Markovian Arrival Process) [3–5]. На ранних стадиях указанных моделей интервалы поступления стацио-

нарного пуассоновского потока чередовались с интервалами, имеющими показательное распределение, где этот поток отсутствовал. (IPP-поток). Затем перешли к рассмотрению SPP-потоков, где чередовались между собой интервалы поступления нескольких стационарных пуассоновских потоков различной интенсивности. Особое место среди рассмотренных потоков занимают групповые пуассоновские потоки.

Групповые пуассоновские потоки

Под групповым пуассоновским потоком случайных событий будем понимать поток случайных событий, распределенных по закону пуассона с параметром λ . Каждое из событий заключается

в поступлении группы заявок. Частным случаем такого потока является неординарный пуассоновский поток, когда событие заключается в одновременном поступлении нескольких заявок [6; 7; 8].

Нами показано [6], что дисперсию $D_m(\rho)$ числа заявок на интервалах τ для такого потока можно определить, как

$$D_m(\rho) = \rho \bar{k}(1 + v_k^2),$$

где $\bar{k}$ – среднее число заявок в «пачке», $\rho = \lambda \tau \bar{k}$ – общий коэффициент загрузки, а $v_k^2 = \frac{D_k}{(\bar{k})^2}$ – квадрат коэффициента вариации чисел заявок в пачках. Дисперсия $D_m(\rho)$ линейно зависит от коэффициента загрузки ρ так же, как это бывает в обычном пуассоновском потоке, где $D_m(\rho) = \rho$.

Нами также была получена формула, для определения средних значений очередей в системах массового обслуживания (СМО) с коррелированными потоками заявок [8–10]. Эта формула обобщает известную формулу Хинчина-Поллачека, которая пригодна лишь для Пуассоновских потоков. Для рассматриваемых потоков обобщенная формула определения среднего значения очереди $q(\rho)$ имеет весьма простой вид:

$$q(\rho) = \frac{\rho \bar{k}(1 + v_k^2)}{2(1 - \rho)} - \frac{\rho}{2}.$$

И, в частном случае, для обычного пуассоновского потока, когда каждая пачка имеет по одной заявке, $\bar{k} = 1$, $v_k^2 = 0$, получим формулу Хинчина-Поллачека в ее обычном виде $\bar{k} = k$, $v_k^2 = 0$.

Распределение заявок внутри пачек

Заявки могут поступать не одновременно, а быть распределены на некоторых временных интервалах, образуя пачки заявок.

Заявки внутри каждой пачки могут быть распределены произвольно, согласно принятому алгоритму. Рассмотрим следующие примеры распределения заявок на заданном постоянном интервале T .

1. Заявки каждой пачки распределены равномерно (интервалы между соседними заявками внутри пачки одинаковы).

2. Интервалы между соседними заявками внутри пачки независимы и распределены экспоненциально.

3. Интервалы между соседними заявками внутри пачки подчиняются Гамма-распределению.

Нетрудно показать, что первые два вида распределения заявок являются частными случаями третьего (в первом случае коэффициент вариации Гамма-распределения стремится к нулю, а во втором случае – к единице).

Обозначим через λ_m – условную среднюю интенсивность потока заявок внутри пачки. Тогда, среднее число заявок $\bar{k}$ в пачке длительностью T определится соотношением $\bar{k} = \lambda_m T$. Будем поддерживать указанное среднее значение постоянным (увеличивая λ_m при уменьшении интервала T).

Рассмотрим второй случай, когда интервалы между соседними заявками внутри пачки независимы и распределены экспоненциально. Распределение числа заявок на интервале T при этом удовлетворяет закону Пуассона

$$P_k(\bar{k}) = \frac{\bar{k}^k}{k!} e^{-\bar{k}}.$$

При уменьшении значения T , все заявки пачки поступают одновременно и рассматриваемый пачечный поток стремится к неординарному групповому потоку с пуассоновским распределением числа заявок в каждой пачке. При увеличении значения T до значения $T=1/\lambda$, приходим к обычному пуассоновскому потоку, с параметром $\lambda \bar{k}$.

Подготовка данных

Для генерации групповых потоков случайных событий программным образом необходимо спроектировать блок подготовки данных, предлагаемый алгоритм которого представлен на рисунке 1.

Прежде всего, необходимо указать тип распределения интервалов генерируемого потока событий («экспоненциальный» или «Гамма»). Затем, следует указать тип распределения размеров пачки («постоянный», «экспоненциальный», «пуассоновский»), распределение интервалов между заявками внутри пачки («постоянный», «экспоненциальный», «пуассоновский»), а также указать параметры распределений $\lambda_1, \eta_1, m_1, p_1$. Необходимо задать требуемый объем выборки «targetN», и инициализировать генераторы случайных чисел: «genUniform» – генератор равномерного распределения, «genExp» – генератор экспоненциального распределения или «genPoison» – генератор распределения Пуассона. Затем, следует установить начальные значения счетчика заявок «totalN = 0» и текущее время «T1 = 0». Определяется длина временного интервала, на котором распределены заявки в пачках.

Все указанные действия могут быть объединены в один блок, который назовем «Блок подготовки данных».

Генерация потоков

После блока подготовки, следующим этапом необходимо предусмотреть блок «алгоритмов генерации потоков заявок». Рассмотрим блок –

схему предлагаемых алгоритмов генерации трех возможных типов распределения размеров пачек (рисунок 2), с учетом следующих условных обозначений: «Пост» – постоянный размер (m_1) пачки заявок; «Эксп» – экспоненциальное распределение; «Пуасс» – пуассоновское распределение, со средним значением, равным m_1 . Выбирается один из указанных типов распределений. Затем, выбирается одно из возможных распределений интервалов между заявками в пачке:

- все заявки сосредоточены в одной начальной точке интервала;
- заявки в пачке распределены равномерно по интервалу;
- интервалы между соседними заявками независимы и имеют экспоненциальное распределение.



Рисунок 1. Блок подготовки данных

Для всех типов генерации устанавливается размер цикла, равный M и выполняется указанный цикл генерации.

В первом случае, когда все заявки пачки сосредоточены во времени в одной точке, при выводе происходит многократное повторение одного и того же значения T^1 .

Во втором случае, когда интервалы между соседними заявками постоянны, то заявки распределены равномерно,

$$T^1 = \frac{dt}{M},$$

а каждый очередной момент времени T определяется по формуле $T := T + T^1$.

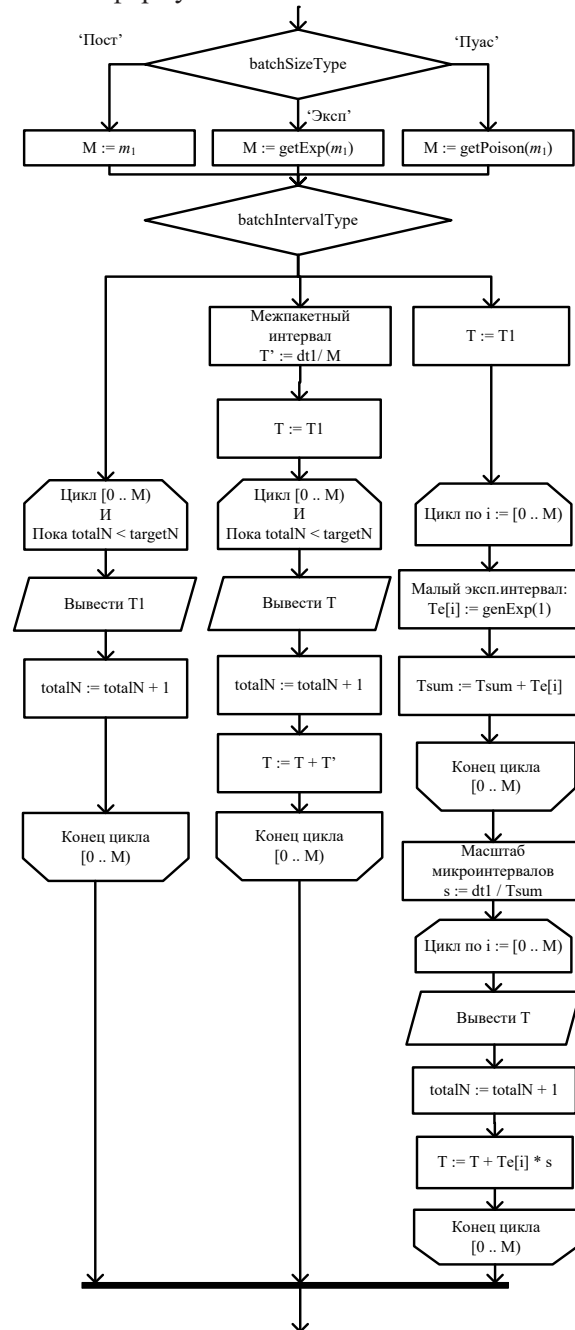


Рисунок 2. Блок-схема алгоритмов генерации потоков заявок

При экспоненциальном распределении интервалов между соседними заявками вначале генерируются случайные значения $Te[i]$, производится их суммирование, а затем, в новом цикле, производится масштабирование всех временных отрезков с масштабом s .

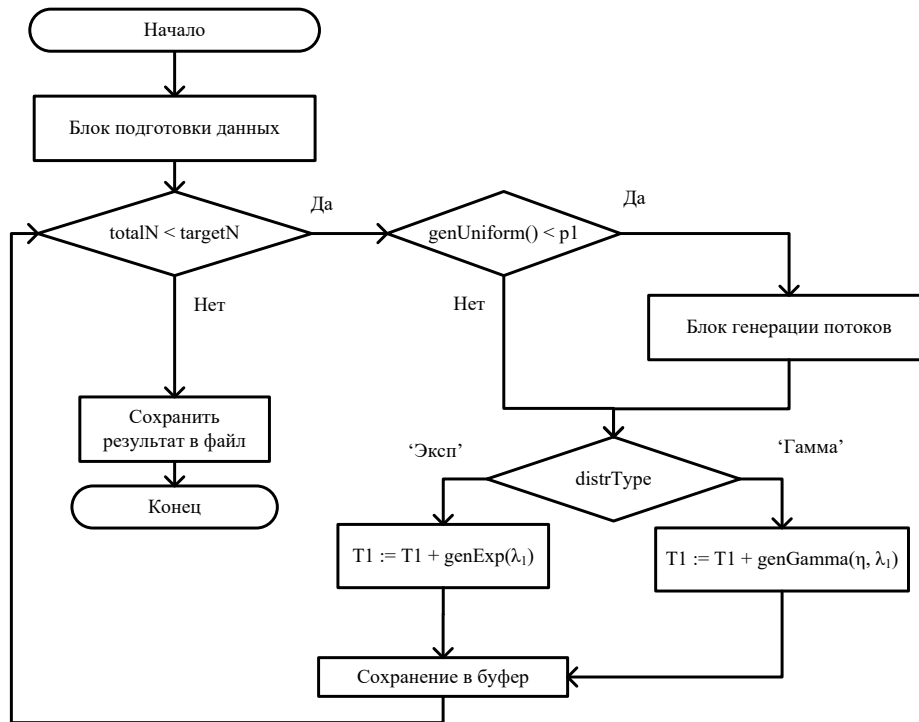


Рисунок 3. Блок-схема алгоритмов работы конвертера потоков заявок

Все рассмотренные схемы объединяются в одну блок-схему конвертера потоков заявок, представленную на рисунке 3.

Конвертер генерации потоков заявок

По рассмотренным выше алгоритмам был создан конвертер генерации групповых потоков заявок. Конвертер воспроизводит последовательности чисел, отражающих моменты времени появления каждой из заявок. Если поток не ординарный, и одновременно появляется несколько заявок, то число, отображающее указанный момент времени, повторяется столько раз, сколько заявок поступило в этот момент.

Программа позволяет генерировать два независимых потока заявок от процессов №1 и №2 и суммировать их (наложить один на другой).

Внешний процесс – порождение события

Процесс №1 может порождать события по Гамма или Экспоненциальному распределению с параметрами λ_1 и η .

Процесс №2 порождает только экспоненциальные интервалы с параметром λ_2 .

У каждого потока задается вероятность наступления события – P_1 и P_2 (1 – событие всегда наступает, 0 – никогда не наступает).

Внутренний процесс – порождение пачки

Оба потока, при наступлении события генерируют сразу пачку заявок.

Размер пачки Потока №1 определяется по одному из трех вариантов:

- всегда фиксированный размер пачки (m_1);
- размер пачки определяется согласно распределению Пуассона со средним m_1 ;
- размер пачки определяется по экспоненциальному распределению со средним m_1 (округленно до целого).

Размер пачки Потока №2 определяется всегда по закону Пуассона со средним m_2 .

Распределение пачки по интервалу

Интервалы между заявками внутри пачки генерируются в одном из нескольких режимов. Поток №1 может работать в четырех режимах:

1. Все заявки пачки в одной точке. Генерируется количество заявок m_1 в очередной пачке из распределения емкости пачки (фиксировано, экспоненциально или по Пуассону) с параметром m_1 . Все эти заявки записываются с одинаковым текущим временем. Пример для набора параметров $\{\lambda_1 = 50, m_1 = 10, P_1 = 1, \rho = 0.1\}$ и Пуассоновского распределения размеров пачек показан на рисунке 4 (здесь и далее приведены скриншоты из программного комплекса АМС [9]). На графике – число заявок на интервале обслуживания.

2. Постоянные интервалы между заявками внутри пачки. Генерируется количество заявок m_1 в очередной пачке из распределения емкости

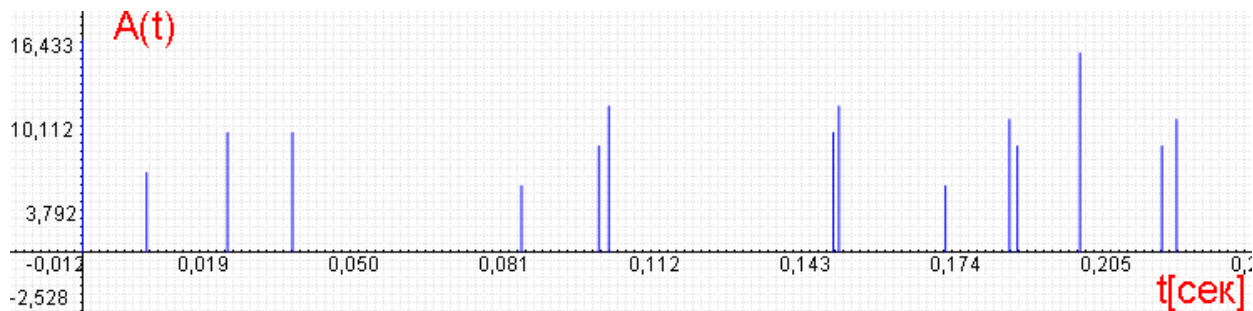


Рисунок 4. Пуассоновское распределение чисел заявок в пачках

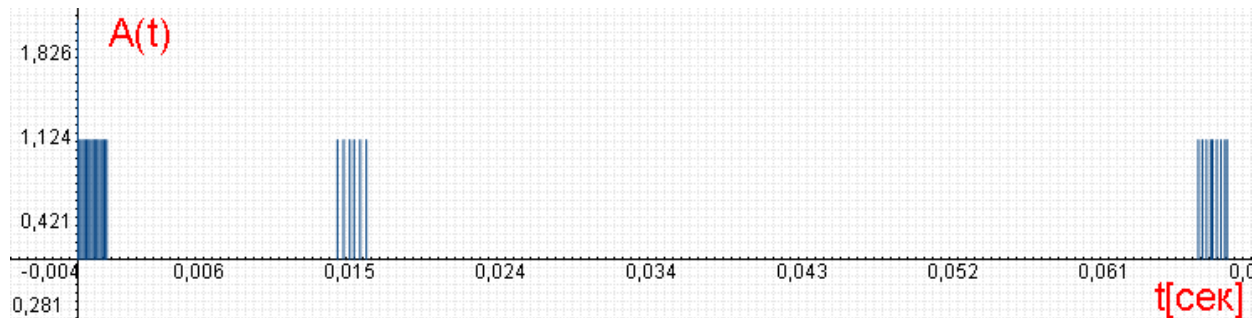


Рисунок 5. Одинаковые числа заявок в пачках

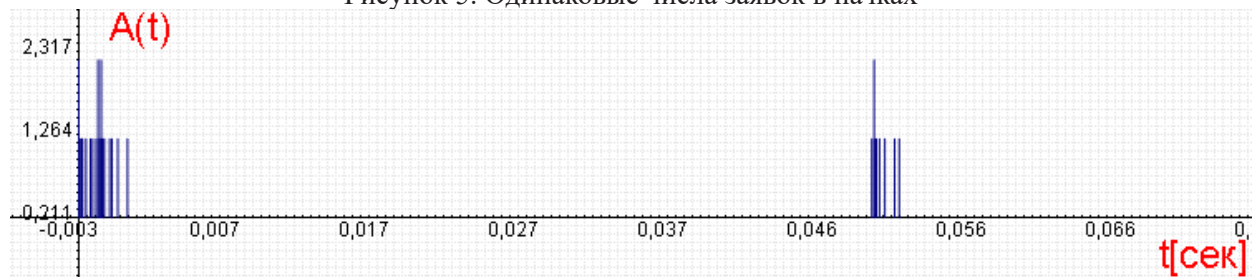


Рисунок 6. Экспоненциальное распределение чисел заявок в пачках

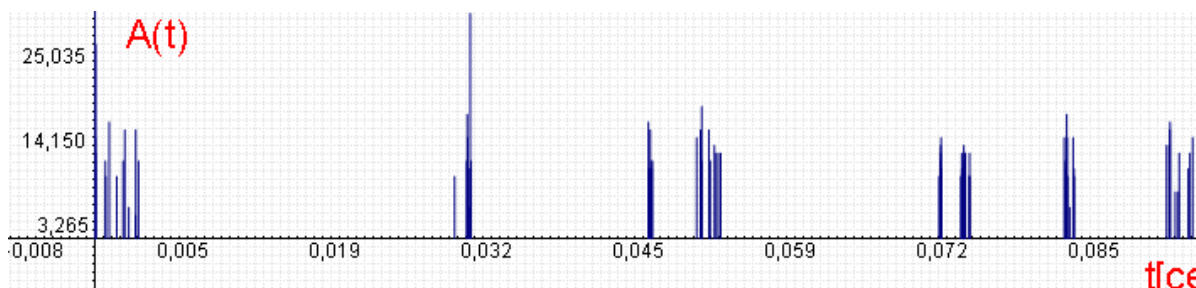


Рисунок 7. Режим размножения пачек

пачки (фиксировано, экспоненциально или по Пуассону) с параметром m_1 . Задается интервал распределения – $dt = \frac{1}{\lambda_1 m_1}$ (исходя из среднего m_1). По интервалу dt равномерно распределяются заявки текущей пачки. Пример для набора параметров $\{\lambda_1 = 50, m_1 = 10, P_1 = 1, \rho = 0.05\}$ показан на рисунке 5.

3. Экспоненциальные интервалы между заявками внутри пачки. Генерируется количество заявок m_i в очередной пачке из распределения емкости пачки (фиксировано, экспоненциально или по Пуассону) с параметром m_1 . Задается интервал размазывания – $dt = \frac{1}{\lambda_1 m_1}$ (исходя из среднего m_1). Интервал dt делится на m_i штук экс-

поненциальных микроинтервалов. В начале каждого микроинтервала вписывается заявка.

Пример для набора параметров $\{\lambda_1 = 50, m_1 = 10, P_1 = 1, \rho = 0.1\}$ и экспоненциального распределения размера пачек показан на рисунке 6.

4. Размножение пачки. Дополнительно задается:

- количество микропечек на одно событие – K (столько раз будет повторена микропачка);
- коэффициент заполнения интервала R , который может принимать значения от 0 до 1 (при $R = 0$ – все микропачки в одной точке; при $R = 1$ – микропачки распределены по всему интервалу до следующего события).

Конвертер потоков заявок СМО, версия 2023.04.04

Гиперэкспоненциальное распр. Пачечные процессы Пуассон с пропорциональными пачками (2) Пуассоновский поток с вероятностными

Процесс 1 (пачки с размером по внутреннему распределению ёмкости пачки):

Вид распределения интервалов процесса 1: Гамма Вид распределения ёмкости пачки: Пуассон

Для интервалов: Для ёмкости пачки:

Вероятность пачки 1 Лямбда1: 1 Эта: 1 Средний размер пачки (M1): 10

Размножить пачку столько раз (K): 100
Активно только если выбран 4 способ - "размножение пачки"

Коэффициент заполнения интервала (R) 0.5
0 - все микропачки в одной точке,
1 - микропачки займут весь интервал до следующего события

Интервалы в пачке потока 1

☐ Все заявки в одной точке
☐ Постоянные интервалы
☐ Экспоненциальные
☒ Размножить пачку K раз, и микропачки распределить экспоненциально на всем интервале до следующего события

Процесс 2 (интервалы экспоненциальные, пачки с размером по Пуассону):

Вероятность пачки (P2): 0 Лямбда2: 0.1
Средний размер пачки (M2): 100

Интервалы в пачке потока 2

☒ Все заявки в одной точке
☐ Постоянные интервалы
☐ Экспоненциальные

Размер пачки определяется по внутреннему распределению ёмкости пачки (Постоянное, Эксп, Пуассон) с заданным средним значением.
Длина интервала, по которому размывается пачка, если нет размножения
= 1/(Лямбда*СреднийРазмерПачки)
В режиме "размножения" микропачки размываются по интервалу до следующего события с учетом коэффициента заполнения. Микропачки имеют размер по внутреннему распределению с тем же средним.

Будут сгенерированы два независимых потока. Поток 1 - экспоненциальный или гамма. По событию первого потока с вероятностью P1 возникает пачка заявок. Размер пачки определяется по Пуассону/эксп или фикс с заданным средним значением. Второй поток только Пуассоновский с Пуассоновским размером пачки. Потоки суммируются.

Количество заявок 10000 Генерировать

☒ Точки и длина 1024

Рисунок 8. Экран взаимодействия с пользователем

Между двумя соседними событиями основного потока t_i и t_{i-1} определяется интервал распределения, пропорционально коэффициенту заполнения:

На этом интервале dt отмечаются K экспоненциальных микроинтервалов. При прохождении всех экспоненциальных микроинтервалов, для каждого из них генерируется количество заявок m_i в очередной пачке по распределению ёмкости пачки (фиксировано, экспоненциально или по Пуассону) с параметром m_1 . В каждой микропачке эти m_i заявок размещаются в начало своего микроинтервала.

Пример для набора параметров $\{\lambda_1 = 50, m_1 = 10, P_1 = 1, K = 10, R = 0,1, \rho = 0,1\}$ в режиме размножения пачек показан на рисунке 7.

Поток №2 работает аналогично, но только в первых трех режимах и только с Пуассоновскими интервалами.

Оба потока могут суммироваться (накладываются друг на друга), образуя общий единый поток и сохраняются в файл.

В потоках, изображенных на рисунках 4–7 использованы одинаковые параметры потока, при различных значениях коэффициента загрузки ρ .

На рисунке 8 показан экран взаимодействия системы с пользователем. На экране расположены окна управления процессами. «Вид распределения

интервалов процесса 1» позволяет установить экспоненциальное или Гамма-распределения интервалов между групповыми событиями. Окно «Вид распределения ёмкости пачки» позволяет установить равномерное, экспоненциальное или пуассоновское распределение числа заявок в пачках. Окно «Вероятность пачки» позволяет установить вероятность возникновения пачки в момент наступления очередного группового события, а окно «Лямбда1» служит для установки значения интенсивности возникновения групповых событий. Окно «размножение пачки K раз» предназначено для установления числа повторений пачки между двумя соседними групповыми событиями. Окно «Коэффициент заполнения интервалов» устанавливает эквивалентный коэффициент загрузки (соответствующее значение интервала времени обработки одной заявки). Средний размер пачки и количество заявок также могут быть установлены в соответствующих окнах.

Вид интервалов между заявками в пачках устанавливается отметкой в одном из окон.

Всего может быть три вида установки:

- все заявки в одной точке;
- постоянные интервалы;
- экспоненциальное распределение.

Параметры второго потока устанавливаются аналогично.

Заключение

Аналитическая теория, справедливая для пуассоновских потоков, для пачечных потоков становится непригодной. Анализ СМО таких потоков все чаще производится средствами имитационного моделирования. Алгоритмический анализ предшествует созданию программных продуктов и обеспечивает программную реализацию имитационных моделей. Модели групповых пуассоновских потоков представляют особый интерес при анализе пачечного трафика телекоммуникационных сетей. Конвертор групповых пуассоновских потоков позволяет получить потоки заявок, аналогичные по своим характеристикам потокам пачечного трафика телекоммуникационных сетей.

Литература

1. Вишневецкий В.М., Дудин А.Н. Системы массового обслуживания с коррелированными входными потоками и их применение для моделирования телекоммуникационных сетей // Автоматика и телемеханика. 2017. №8. С. 3–59.
2. Neuts M.F. A Versatile Markovian point process // Journal of Applied Probability. 1979. no. 16(04). P. 764–779. DOI:10.2307/3213143
3. Flexible Dual Connectivity Spectrum Aggregation for Decoupled Uplink and Downlink Access in 5G Heterogeneous Systems / M.A. Lema [et al.] // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2016. Vol. 34, no. 11. P. 1–12.
4. Multiband OFDMA Heterogeneous Network for Millimeter Wave 5G Wireless Applications / S. Niknam [et al.] // IEEE Access. 2016. Vol. 4. P. 640–648.
5. Vishnevsky V., Larionov A., Frolov S. Design and Scheduling in 5G Stationary and Mobile Communication Systems Based on Wireless Millimeter-Wave Mesh Networks // Distributed Computer and Communication Networks. 2014. P. 11–27.
6. Лихтциндер Б.Я. Интервальные характеристики групповых пуассоновских моделей трафика телекоммуникационных систем // Инфокоммуникационные технологии. 2020. Т. 18, № 3. С. 302–311.
7. Likhttsinder B.Ja. Bakai Yu.O. Models of group poisson flows in telecommunication traffic control // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2020. Т. 28, № 3 (67). С. 75–89.
8. Лихтциндер Б.Я., Моисеев В.И. МАР и ВМАР-потоки в моделях трафика телекоммуникационных систем // Инфокоммуникационные технологии. 2020. Т. 18, № 2. С. 143–148.
9. Лихтциндер Б.Я. Трафик мультисервисных сетей доступа (интервальный анализ и проектирование). М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 290 с.
10. Лихтциндер Б.Я. О некоторых обобщениях формулы Хинчина-Поллачека для неэкспоненциальных потоков // Инфокоммуникационные технологии. 2007. Т. 5, № 4. С. 15–18.

Получено 14.06.2022

Лихтциндер Борис Яковлевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры сетей и систем связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. 443010, Российская Федерация, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23. Тел. +7 846 333-47-69. E-mail: lixt@psuti.ru

Моисеев Виктор Игоревич, к.т.н., доцент кафедры радиоэлектроники и защиты информации Пермского государственного национального исследовательского университета. 614068, Российская Федерация, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Тел. +7 902 83 145 30. E-mail: vim@psu.ru

BATCH ARRIVAL FLOW GENERATION ALGORITHMS

Likhttsinder B.Ya.¹, Moiseev V.I.²

¹ *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

² *Perm State University, Perm, Russian Federation*

E-mail: lixt@psuti.ru, vim@psu.ru

The article observes algorithmic methods for analyzing of queuing systems. Software implementation is always preceded by the development of some algorithmic model of an object or process. The arsenal of algorithms combines both continuous and discrete logical functions, significantly expanding possibilities of algorithmic methods compared to analytical ones. Packet flows in multiservice telecommunication networks have a clearly expressed burst character and differ from Poisson flows

significantly. The entire coherent analytic theory, which is valid for Poisson flows, unfortunately becomes unsuitable for burst flows. Real results for queuing systems with bursty flows may be obtained using simulation modeling, which requires knowledge and skills in algorithmizing of simulated processes. A software tool – a converter – is considered and examples of generating burst streams with various burst structures are presented. An analysis of algorithmic models of queuing systems for various service disciplines was conducted. The need for further development of the algorithmic theory of queuing systems is emphasized..

Keywords: *queuing systems, group flows of requests, analysis, generation, algorithms, complexity of algorithms, data, flow converter*

DOI: 10.18469/ikt.2023.21.1.02

Likhtsinder Boris Yakovlevich, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, L.Tolstoy Street, Samara, 443010, Russian Federation; Professor of Networks and Communication Systems Department, Doctor of Technical Science, Professor. Tel. +7 846 333-47-69. E-mail: lixt@psuti.ru

Moiseev Victor Igorevich, Perm State University, 15, Bukireva Street, Perm, 614068, Russian Federation; Associate Professor at Radioelectronics and Information Security Department, PhD in Technical Sciences. Tel. +7 902 83 145 30. E-mail: vim@psu.ru

References

1. Vishnevskii V.M., Dudin A.N. Queueing systems with correlated arrival flows and their applications to modeling telecommunication networks. *Avtomatika i telemekhanika*, 2017, no. 8, pp. 3–59. (In Russ.)
2. Neuts M.F. A Versatile Markovian point process. *Journal of Applied Probability*, 1979, no. 16(04), pp. 764–779. DOI:10.2307/3213143
3. Lema M. A. et al. Flexible Dual Connectivity Spectrum Aggregation for Decoupled Uplink and Downlink Access in 5G Heterogeneous Systems. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2016, vol. 34, no. 1, pp.1–12.
4. Niknam S. et al. Multiband OFDMA Heterogeneous Network for Millimeter Wave 5G Wireless Applications. *IEEE Access*, 2016, vol. 4, pp. 640–648.
5. Vishnevsky V., Larionov A., Frolov S. Design and Scheduling in 5G Stationary and Mobile Communication Systems Based on Wireless Millimeter-Wave Mesh Networks. *Distributed Computer and Communication Networks*, 2014, pp. 11–27.
6. Likhtzinder B.Ya. Interval characteristics of group poisson models of telecommunication systems traffic. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, 2020, vol. 18, no. 3, pp. 302–311. (In Russ.)
7. Likhtzinder B.Ya., Bakai Yu.O. Models of group poisson flows in telecommunication traffic control. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki*, 2020, vol. 28, no. 3 (67), pp. 75–89.
8. Likhtzinder B.Ya., Moiseev V.I. MAP- and BMAP-flows in traffic models of telecommunication systems. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, 2020, vol. 18, no. 2, pp. 143–148. (In Russ.)
9. Likhtzinder B.Ya. *Traffic of multiservice access networks (interval analysis and design)*. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2018, 290 p. (In Russ.)
10. Likhtzinder B.Ya. About some generalizations of formula Hinchin Pollyachek for notexponential streams. *Infokommunikatsionnye tekhnologii*, 2007, vol. 5, no. 4, pp. 15–18. (In Russ.)

Received 14.06.2022