# Групповые пуассоновские и гиперпуассоновские модели пакетного трафика

**Лихтциндер Борис Яковлевич**
д.т.н., профессор кафедры Сети и системы связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия, lixt@psuti.ru

**Моисеев Виктор Игоревич**
к.т.н., доцент кафедры Радиоэлектроники и защиты информации Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Россия, vim@psu.ru

АННОТАЦИЯ

**Введение:** В работе осуществлено обоснование подхода к синтезу подсистемы мониторинга распределенной информационно-телекоммуникационной сети общего пользования. **Постановка задачи:** Рассматриваются модели одноканальных систем массового обслуживания с входными потоками, имеющими произвольную корреляцию. **Цель:** Изучить перспективность применения интервальных методов анализа очередей в системах массового обслуживания с коррелированными входными потоками. **Методы:** Для одноканальных систем массового обслуживания с входными потоками, имеющими произвольную корреляцию, приведена обобщённая формула Хинчина-Поллачека. В качестве модели пакетного трафика предлагается использовать групповые неординарные пуассоновские и гиперпуассоновские потоки. **Результаты:** Рассмотрены интервальные характеристики указанных потоков и показана перспективность их применения. Показано, что дисперсия чисел заявок на интервалах обслуживания групповых пуассоновских потоков носит линейный характер, а сумма независимых групповых пуассоновских потоков также является групповым пуассоновским потоком. Групповые пуассоновские потоки являются частным случаем групповых гиперпуассоновских потоков. **Обсуждение:** Если длительность пачки для группового гиперпуассоновского потока существенно меньше длительности периода занятости, то замена такого потока групповым пуассоновским потоком не приводит к существенному изменению размера очередей. Показано, что при заданных значениях чисел заявок, поступающих в течение периодов занятости систем массового обслуживания, групповой пуассоновский поток обеспечивает наибольшее среднее значение очередей, и в этом смысле является предельным. Сделанные выводы подтверждены результатами имитационного моделирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пакетный трафик; очереди; групповой пуассоновский поток; групповой гиперпуассоновский поток; периоды занятости; мультиплексирование.

**Введение**

Процесс обработки пакетного трафика в сетях массового обслуживания (СМО) носит циклический характер. Интервалы времени, в течение которых происходит обработка трафика, чередуются с интервалами времени, в течение которых трафик отсутствует и СМО простаивает [1]. Показано, что распределение вероятностей периодов занятости для пуассоновских входных потоков заявок является одной из важнейших комплексных характеристик СМО, учитывающей, как параметры потоков, так и параметры их обработки.

Появление сетей передачи данных с коммутацией пакетов показало, что пуассоновские модели потоков не являются адекватными и потребовало разработки новых моделей, основанных на не пуассоновских распределениях Описание сложных коррелированных потоков в современных телекоммуникационных сетях, часто производилось с использованием «фрактальных» процессов. Сотни работ посвящены анализу «самоподобного» трафика. Однако ощутимых практических результатов указанные исследования не дали. Недостаточная эффективность представления трафика моделями «самоподобных» процессов привела к созданию целого класса моделей потоков, управляемых цепью Маркова. Этапы развития указанных моделей представлены в обзоре [2]. В нашей стране они были названы МС-потоками, а в США эволюционировали от «разносторонних (versatile) потоков», через «N-потоки (потоки Ньютса) [3] до Марковских входных потоков (MAP – Markovian Arrival Process) и их обобщения – групповых Марковских входных потоков (BMAP – Batch Markovian Arrival Process) [4-10].

Для одноканальных СМО нами было получено соотношение (1) [15], обобщающее известную формулу Хинчина-Поллачека для среднего значения очереди $\overline{q(\rho)}$ и справедливое для любых стационарных потоков заявок при заданном коэффициенте загрузки $\rho$ :

$$\overline{q(\rho)} = \frac{D_m(\rho) + 2Cov[q_{i-1}(\rho); m_i(\rho)]}{2(1-\rho)} \qquad (1)$$

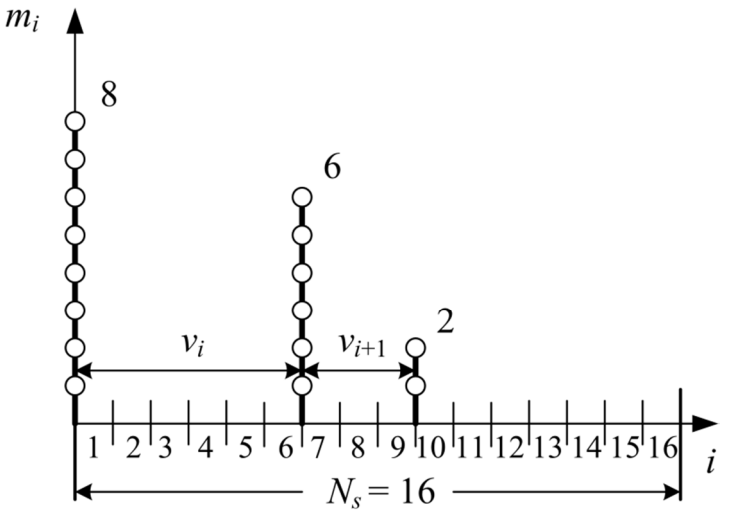
Анализ числителя формулы (1) показывает, что среднее значение очереди для потоков любого вида зависит от двух составляющих: первая составляющая это дисперсия $D_m(\rho)$ числа заявок (пакетов) $m_i(\rho)$, поступающих в течение интервала времени обработки одной заявки, а вторая – это составляющая, обусловленная наличием корреляционных связей в указанном потоке. Корреляционные связи учитываются ковариацией $Cov[q_{i-1}(\rho); m_i(\rho)]$ между значениями $m_i(\rho)$ и значениями очереди $q_{i-1}(\rho)$ на предыдущем интервале анализа.

В частном случае, для пуассоновского потока, указанная составляющая равна нулю, а дисперсия $D_m(\rho)=\rho$. Тогда, при постоянном времени обслуживания обобщенная формула (1) приобретает известный вид:

$$\overline{q(\rho)} = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}. \qquad (2)$$

**Групповые пуассоновские потоки**

Одной из разновидностей BMAP-потоков является групповой пуассоновский поток заявок. Такой поток представляется в виде пуассоновского потока событий, каждое из которых заключается в одновременном и независимом появлении нескольких заявок с заданным законом распределения чисел этих заявок, как это показано на Рисунке 1 [12]. Интервалы времени $\vartheta_i$ между групповыми событиями имеют экспоненциальное распределение. Применение группового пуассоновского потока в качестве моделей телекоммуникационного трафика рассмотрено нами в работах [13,14].




| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $m_i$ | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Рис. 1.** Групповой пуассоновский поток

Для групповых пуассоновских потоков корреляционная составляющая также, как и для обычных пуассоновских потоков, равна нулю, а дисперсия $D_m(\rho)$ линейно зависит от $\rho$ [13,14]. Для одноканальных СМО, средний размер очереди определяется соотношением (3).

$$\overline{q(\rho)} = \frac{D_m(\rho)}{2(1-\rho)} - \frac{\rho}{2} = \frac{\rho E}{2(1-\rho)} - \frac{\rho}{2}. \tag{3}$$

где $E = \overline{k}(1+v_k^2)$ пропорционально среднему числу заявок в пачке $\overline{k}$.

$v_k^2$ - коэффициент вариации чисел заявок в пачках.

Таким образом, диспепсия $D_m(\rho)$ для группового пуассоновского потока, так же, как и для обычного пуассоновского потока, линейно зависит от коэффициента загрузки $\rho$.

Рассмотрим частные случаи.

1. Ординарный пуассоновский поток: $k_i = 1, \bar{k} = 1,\ v_k^2 = 0$, $E = 1$ – при этом справедлива формула (2).

2. Все пачки имеют одинаковое число заявок:

$k_i = 1, \bar{k} = k, v_k^2 = \frac{1}{k}, E = \bar{k} + 1$

3. Числа заявок в пачках распределены по закону Пуассона: $\bar{k} = k$, $v_k^2 = \frac{1}{k}$, $E = \bar{k} + 1$.

4. Числа заявок в пачках целые и распределены по экспоненциальному закону: $\bar{k} = k$, $v_k^2 = 1$, $E = 2\bar{k}$.

**Суммирование независимых групповых пуассоновских потоков**

При мультиплексировании независимых групповых пуассоновских потоков получается суммарный групповой пуассоновский поток. Коэффициент загрузки суммарным потоком равен сумме коэффициентов загрузки исходными потоками $\rho = \sum_i^M \rho_i$, а дисперсия суммарного потока равна сумме дисперсий исходных потоков $D_m(\rho) = \sum_i^M D_m(\rho_i)$, где М- число исходных потоков. В соответствии с (3), формула для среднего значения очереди суммарного потока примет вид:

$$\overline{q(\rho)} = \frac{\sum_{i=1}^M D_m(\rho_i)}{2(1-\sum_i^M \rho_i)} - \frac{\sum_{i=1}^M \rho_i}{2} = \frac{\rho \sum_{i=1}^M P_i \frac{\overline{k_i^2}}{\overline{k_i}}}{2(1-\rho)} - \frac{\rho}{2}., \quad (4)$$

где $P_i = \frac{\rho_i}{\rho}$ вероятность загрузки *i*- м потоком.

**Групповой пуассоновский поток на фоне обычного пуассоновского потока**

Выше было показано, что дисперсия $D_m(\rho)$ для группового пуассоновского потока, также, как и для обычного пуассоновского потока линейно зависят от коэффициента загрузки $\rho$. Для независимых потоков, дисперсия суммарного потока равна сумме дисперсий исходных потоков. Аналогично, суммируются и их коэффициенты загрузки $\rho$. Допустим, что $\rho_1$ и $\rho_2$ коэффициенты загрузки одноканальной СМО групповым пуассоновским и обычным пуассоновским потоками, соответственно.

Суммарный коэффициент загрузки $\rho = \rho_1 + \rho_2 = \rho P + \rho(1-P)$, где $P$ - вероятность загрузки групповым пуассоновским потоком.

Среднее значение очереди в СМО, загруженной указанными потоками, согласно (3):

$$\overline{q(\rho)} = \frac{[P(E-1)+1]\rho}{2(1-\rho)} - \frac{\rho}{2}, \quad E \geq 1.$$

Числитель линейно зависит от коэффициента загрузки $\rho$, При отсутствии группового пуассоновского потока ($P = 0$), и формула полностью соответствует (2). Наоборот, если $P = 1$ (полностью отсутствует фоновый пуассоновский поток), формула полностью соответствует (3). После несложных преобразований, получим

$$\overline{q(\rho)} = \frac{\rho P(E-1) + \rho^2}{2(1-\rho)}, \quad E \geq 1 .$$

Числитель состоит из двух составляющих, одна из которых линейная, зависит от доли группового пуассоновского потока, а вторая – квадратичная, определяющая влияние фонового пуассоновского потока. Изменением коэффициента $P$, мы можем изменять начальный наклон графика зависимости средней длины очереди от коэффициента загрузки, подбирая параметры модели, аппроксимирующие реальный поток.

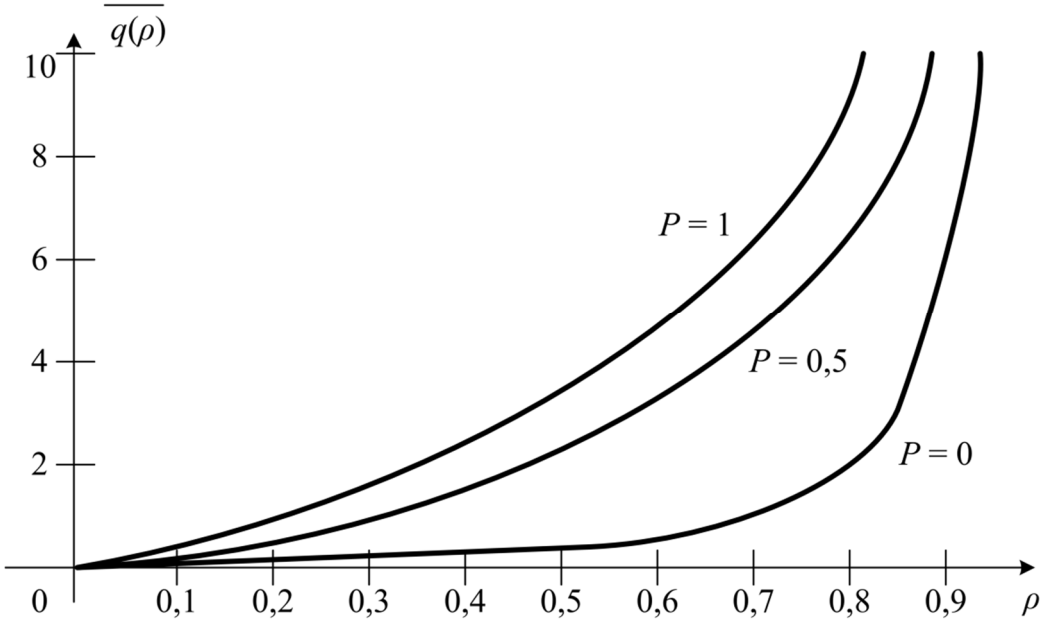



**Рис. 2.** Зависимости средних размеров очередей от соотношений интенсивностей потоков

На Рисунке 2 показаны зависимости средних размеров очередей при $E = 8$, для трех значений вероятностей $P$:

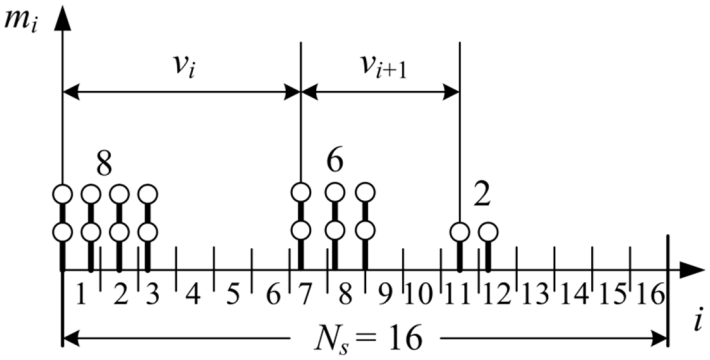
- для $P = 1$ – фоновый пуассоновский поток отсутствует (верхняя кривая),
- для $P = 0$ – присутствует только пуассоновский поток (нижняя кривая),
- для $P = 0,5$ – оба потока создают одинаковую загрузку (средняя кривая).

Изменяя значения коэффициентов $E$ и $P$, можно в данной модели регулировать начальный наклон и зависимость размера очереди в широких пределах.

**Групповые гиперпуассоновские потоки**

Групповой гиперпуассоновский поток также представляет пуассоновский поток событий, где каждое событие заключается в появлении пачки других событий. Каждое событие пачки состоит из нескольких одновременно появляющихся заявок, с заданным законом распределения вероятностей.

Внизу показаны $N_s = 16$ интервалов времени, в течение каждого из которых происходит обработка по одной заявке. На Рисунках 1 и 3 приведены числа заявок $m_i$, поступающих в течение интервалов обработки одной заявки. Суммарный промежуток времени $T_s$, в течение которого успеют обработаться все $N_s$ заявок, называют периодами занятости [1]. Суммарное число заявок, поступивших в течение периода занятости, всегда равно суммарному числу заявок, обработанных в течение указанного периода времени. Далее, если заявки в системе отсутствуют, наступает период простоя. Следовательно, процесс обработки заявок в СМО носит циклический характер [1]. Поскольку перед началом периода занятости каждого цикла заявки в системе отсутствуют, изменение размеров очередей на различных циклах не влияют друг на друга.




| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $m_i$ | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Рис. 3.** Групповой Гиперпуассоновский поток.

**Число заявок, находящихся в очередях в течение данного периода занятости.**

Для каждого цикла нами было получено соотношение, определяющее вклад чисел заявок, поступающих в течение каждого интервала обработки, в общее число заявок $S_s$, находящихся в очередях в течение данного периода занятости [16].

$$S_s = \sum_{i=1}^{N_s} i(1 - m_i) .$$

При заданном значении общего числа поступающих заявок $N_s = 16$, предельного значения суммарное число заявок в очереди $S_{s\max} = \dfrac{N_s(N_s - 1)}{2} = 120$ достигает, если все заяв-

ки сосредоточены в первом интервале. Для примера, показанного на Рисунке 1., также $N_s = 16$, однако, суммарное число заявок в очереди $S_s = 50$. Суммарное число заявок в очереди уменьшилось, по сравнению с предельным.

**Пачки заявок**

Если, в течение периода занятости $N_s$ действует одна пачка заявок, равномерно распределенных на $n_s$ интервалах обработки заявок, как это показано на Рисунке 4., то на каждый из интервалов, на которые поступают заявки , приходится по $m_i = \frac{N_s}{n_s}$ заявок. Суммарное число заявок в очереди , при этом

$$S_s = \frac{N_s(N_s - 1)}{2} - \frac{N_s}{n_s}\frac{n_s(n_s - 1)}{2} = \frac{N_s(N_s - n_s)}{2}. \qquad (5)$$

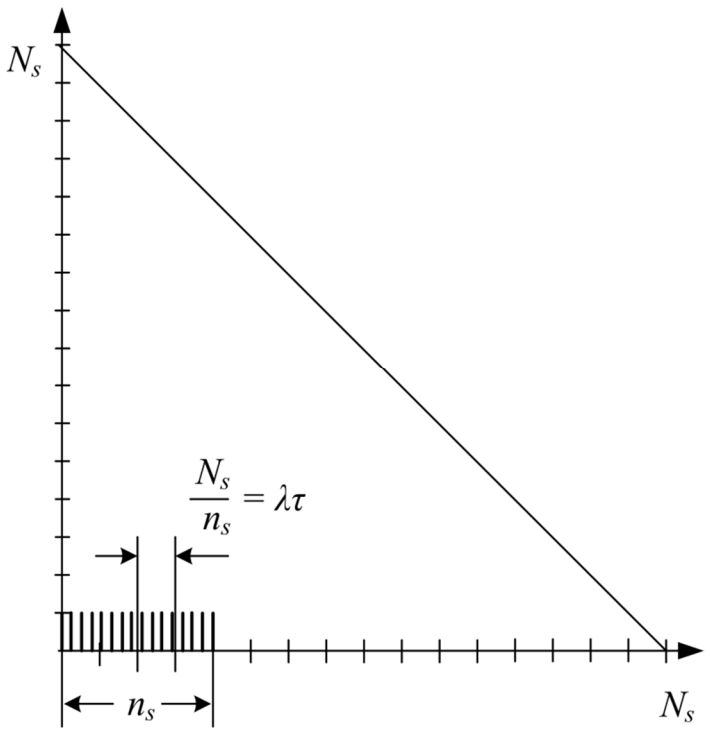



**Рис. 4.** Параметры пачки заявок

Наличие пачечности уменьшает суммарное число заявок в очереди по сравнению с предельным значением $S_{s\max}$.

Если вся пачка укладывается в один интервал обслуживания, ($n_s$=1), то получаем предельное значение. Если все заявки равномерно размещены на $N_s$ интервалах, то на каждом из них имеем по одной поступающей заявке, ($n_s = N_s$), и очередь отсутствует.

Для рассмотренного примера: $N_s = 16$, $n_s = 4$ и $S_s = \frac{16(16-4)}{2} = 96$.

Соотношение (5) показывает, что, если длительность пачки существенно меньше длительности периода занятости, то замена пачечного группового гиперпуассоновского потока групповым пуассоновским потоком не приводит к существенному изменению размера очередей

Допустим, что заявки в пачке поступают равномерно с интенсивностью $\lambda_{\max}$, а средняя длительность интервала обработки одной заявки равна $\tau$. Тогда среднее число заявок, поступающих в течение одного интервала, $n_s = \lambda_{\max}\tau$, а суммарное число заявок в очереди $S_s$ определится соотношением:

$$S_s = \frac{N^2{}_s(1 - 1/\lambda_{\max}\tau)}{2}$$

Если в качестве модели трафика, в частности видеотрафика [17-20], принять групповой гиперпуассоновский поток, представленный на Рисунке 3, то $N_s = k_s$ - числа заявок в пачках, $\tau = \frac{\rho}{\lambda}$, где $\lambda$ - интенсивность потока, а $\rho$ коэффициент загрузки системы. получим:

$$S_s = \frac{N^2{}_s(1 - \lambda/\lambda_{\max}\rho)}{2}.$$

Суммируя $S_s$ по всем циклам $S_\Sigma = \frac{(1 - \lambda/\lambda_{\max}\rho)\sum_{k-1}^{K_S} N_k{}^2}{2}$, и усредняя по всем поступившим заявкам, получим:

$$\overline{Q} = \frac{S_\Sigma}{N_\Sigma} = \frac{S_\Sigma K_S}{K_S N_\Sigma} = \overline{S}_S \frac{K_S}{N_\Sigma} = \frac{\overline{N_S{}^2}}{2\overline{N_S}}(1 - \lambda/\lambda_{\max}\rho),$$

где: $\overline{Q}$ - Условное среднее значение очереди (среднее значение очереди в течении периодов занятости), $N_s$ число заявок в цикле , $K_S$ - общее число циклов, $N_\Sigma = \sum_{s=1}^{K_S} N_s$ - суммарное число поступивших заявок, $S_\Sigma = \sum_{s=1}^{K_S} S_s$ – суммарное число заявок в очередях, $\overline{S}_S = \frac{S_\Sigma}{K_S}$ – среднее число заявок в циклах, $\overline{N_S}$ = первый начальный момент чисел заявок в циклах, $\overline{N_S{}^2}$ = второй начальный момент чисел заявок в циклах.

Учитывая, зависимость очередей от коэффициента загрузки $\rho$, и что безусловное среднее значение очереди $\overline{q(\rho)} = \overline{Q(\rho)}\rho$, окончательно, получим:

$$\overline{q(\rho)} = \frac{\overline{N_S^{\,2}}}{2\overline{N_S}}(\rho - \lambda/\lambda_{\max}); \qquad \lambda/\lambda_{\max} < \rho \quad . \tag{6}$$

Если $\lambda_{\max}$ стремится к бесконечности, то ширина пачки , при заданном значении $N_S(\rho)$, стремится к нулю, и получаем результат, соответствующий групповому пуассоновскому потоку.

$$\overline{q(\rho)} = \frac{\overline{N_S^{\,2}}}{2\overline{N_S}}\rho = \frac{\overline{k_S^{\,2}}}{2\overline{k}}\rho ,$$

где $N_S = k_S$ - числа заявок в пачках группового пуассоновского потока. Здесь считается, что на каждом из циклов присутствует лишь по одной пачке заявок группового пуассоновского потока.

Если же в течение циклов присутствуют несколько независимых групповых пуассоновских потоков, то, согласно (4), справедлива следующая формула определения средних значений очередей:

$$\overline{q(\rho)} = \frac{\rho\sum_{i=1}^{M} P_i \frac{\overline{N_{Si}^{\,2}}}{\overline{N_{Si}}}}{2(1-\rho)} - \frac{\rho}{2} = \frac{\rho\sum_{i=1}^{M} P_i \overline{N_{Si}}(1+v_{Si}^2)}{2(1-\rho)} - \frac{\rho}{2}, \tag{7}$$

где, как и прежде, $\rho$ - суммарный коэффициент загрузки всеми потоками, $P_i = \frac{\rho_i}{\rho}$ - вероятность загрузки $i$-м потоком, а $v_{Si}^2$ - квадрат коэффициента вариации $N_{Si}$ . Из (7) следует, что, в случае принятия для исходных потоков моделей групповых пуассоновских потоков, определив параметры $\rho_i$, $\overline{N_{Si}}$ и $v_{Si}^2$, мы можем определить среднее значение очереди при мультиплексировании указанных потоков.

**Заключение**

Мы показали, что групповые пуассоновские и гиперпуассоновские потоки могут рассматриваться в качестве моделей пачечных видео потоков телекоммуникационных систем. Дисперсия чисел заявок на интервалах обслуживания групповых пуассоновских потоков носит линейный характер, а сумма независимых групповых пуассоновских потоков также является групповым пуассоновским потоком.

Групповые пуассоновские потоки являются частным случаем групповых гиперпуассоновских потоков. Если длительность пачки для группового гиперпуассоновского потока существенно меньше длительности периода занятости, то замена такого потока групповым пуассоновским потоком не приводит к существенному изменению размера очередей. При заданных значениях чисел заявок, поступающих в течение периодов занятости СМО, групповой пуассоновский поток обеспечивает наибольшее среднее значение очередей, и в этом смысле является предельным.

Поскольку сумма независимых групповых пуассоновских потоков также является групповым пуассоновским потоком, в случае принятия групповых пуассоновских моделей,

определив параметры $\rho_i$, $\overline{N_{Si}}$ и $\nu_{Si}^2$ для исходных потоков, мы можем найти среднее значение суммарной очереди при их мультиплексировании (7).

**Литература**


1. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979, 432 с.
2. *Вишневский 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.
3. *Neuts M.F.* Versatile Markovian point process // Journal of Applied Probability. 1979. Vol. 16, Issue 4. P. 764-779. DOI: https://doi.org/10.2307/3213143.
4. *Ramaswami V.* The N/G/1 queue and its detailed analysis // Advances in Applied Probability. 1980. Vol. 12. Issue 1. Pp. 222–261. DOI: https://doi.org/10.2307/1426503.
5. *Lakatos L., Szeidl L., Telek M.* Introduction to Queueing Systems with Telecommunication Applications // Springer Science+Business Media. 2013. 388 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5317-8.
6. *Lema M.A., Pardo E., Galinina O., Andreev S., Dohler M.* 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. Issue 1. Pp. 2851–2865. DOI: https://doi.org/10.1109/ JSAC.2016.2615185.
7. *Niknam S., Nasir A.A., Mehrpouyan H., Natarajan B.* A Multiband OFDMA Heterogeneous Network for Millimeter Wave 5G Wireless Applications // IEEE Access. 2016. Vol. 4. Pp. 5640–5648. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2604364.
8. *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. Vol. 279. Pp. 11-27. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05209-0_2.
9. *Vishnevsky V.M., Larionov A.A., Ivanov R.E., Dudin M.* Applying graph-theoretic approach for time-frequency resource allocation in 5G MmWave backhaul network // Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO). 2016. Pp. 221–224. DOI: https://doi.org/10.1109/RTUWO.2016.7821888.
10. *Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V.* On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic // IEEE/ACM Transactions on Networking. 1994. Vol. 2. № 1. Pp. 1–15.
11. *Цыбаков Б.С.* Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса // Радиотехника. 1999. № 5. С. 24–31.
12. *Lucantoni D.M.* The BMAP/G/1 queue: A tutorial // Performance Evaluation of Computer and Communication Systems. Performance 1993, SIGMETRICS 1993. Lecture Notes in Computer Science, Vol 729. Springer, Berlin, Heidelberg
13. *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.
14. *Лихтциндер Б. Я.* Интервальные характеристики групповых пуассоновских моделей трафика телекоммуникационных систем. Инфокоммуникационные технологии. 2020. Т. 18. № 3. С. 302-311.
15. *Лихтциндер Б.Я.* Трафик мультисервисных сетей доступа (интервальный анализ и проектирование). М.: Горячая линия - Телеком, 2018. 290 с.
16. *Блатов И.А., Лихтциндер Б.Я.* О предельных значениях длин очередей в СМО с пачечными потоками // Инфокоммуникационные технологии. Т. 16. №2. 2018. С. 181-187.

17. *Dubovskis V., Teilans A., Visockis N.* IPTV Statistic Data Collection, Processing and Preparation for use in a Modeling System // Procedia Computer Science, Volume 77, 2015, Pp. 221-226, Doi: 10.1016/j.procs.2015.12.376.

18. *Moltchanov, D., Koucheryavy, Y., Harju, J.* The model of single smoothed MPEG traffic source based on the D-BMAP arrival process with limited state space. In: Proceedings of ICACT 2003, Phoenix Park, South Korea, Pp. 57–63.

19. *Fiems, D., Inghelbrecht, V., Steyaert, B., Bruneel, H.* Markovian Characterisation of H.264/SVC Scalable Video // Материалы конференции Analytical and Stochastic Modeling Techniques and Applications: 15th International Conference, ASMTA 2008 Nicosia, Cyprus, June 4-6, 2008. Pp.1-15.

20. *Kempken, S., Luther, W.* Modeling of H.264 high definition video traffic using discrete-time semi-Markov processes // ITC 2007. LNCS, vol. 4516. Springer, Heidelberg, 2007.

# BATCH POISSON AND HYPERPOISSON ARRIVAL PROCESS TELETRAFFIC MODELS

**BORIS YA. LIKHTTSINDER**
PhD, Professor, Professor of Communications Network and Systems Department
Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia, lixt@psuti.ru

**VICTOR I. MOISEEV**
PhD, Assistant professor of Radioelectronics and Informations Security Department
Perm State University, Perm, Russia, vim@psu.ru

**ABSTRACT**

**Introduction:** Several kinds of teletraffic process models are presented. Of particular interest are single channel queuing systems without restrictions on correlation in arrival processes or generally correlated. **Purpose:** To study interval analysis methods in application to correlated teletraffic arrival processes. **Methods:** For single channel generally correlated processes general Khinchin-Pollachek formula derived. Proposed traffic models are batch non-ordinal Poisson and hyperpoisson arrival processes. **Results:** Intervallic characteristics of said processes are presented and its meaning discussed. It is shown that dispersion of numbers of packets on service intervals in batch poisson processes has linear behavior and sum of independent batch Poisson processes is a batch Poisson process in itself. **Discussion:** When batch period for batch hyperpoisson process is significantly shorter than service time, then replacing such process with a batch Poisson process will not lead to significant changes in queue lengths. It is shown, that for given arrival numbers on given service intervals, hyperpoisson process gives largest mean queue size, and is limiting in that sense. Given outcomes confirmed by modeling results.

**Keywords:** batch arrivals; queueing; batch Poisson process; batch hyperpoisson process; service time; multiplexing.

**REFERENCES**


1. Kleynrok L. Teoriya massovogo obsluzhivaniya. M.: Mashinostroenie [Machine engineering], 1979, 432 p. (In Rus)
2. Vishnevskiy V.M., Dudin A.N. Sistemy massovogo obsluzhivaniya s korrelirovannymi vkhodnymi potokami i ikh primenenie dlya modelirovaniya telekommunikatsionnykh setey // Avtomatika i telemekhanika [Automatics and telemechanics]. 2017. No 8. Pp. 3–59. (In Rus)
3. Neuts M.F. Versatile Markovian point process // Journal of Applied Probability. 1979. Vol. 16, Issue 4. P. 764-779. DOI: https://doi.org/10.2307/3213143.
4. Ramaswami V. The N/G/1 queue and its detailed analysis // Advances in Applied Probability. 1980. Vol. 12. Issue 1. Pp. 222–261. DOI: https://doi.org/10.2307/1426503.
5. Lakatos L., Szeidl L., Telek M. Introduction to Queueing Systems with Telecommunication Applications // Springer Science+Business Media. 2013. 388 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5317-8.
6. Lema M.A., Pardo E., Galinina O., Andreev S., Dohler M. 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. Issue 1. Pp. 2851–2865. DOI: https://doi.org/10.1109/ JSAC.2016.2615185.
7. Niknam S., Nasir A.A., Mehrpouyan H., Natarajan B. A Multiband OFDMA Heterogeneous Network for Millimeter Wave 5G Wireless Applications // IEEE Access. 2016. Vol. 4. Pp. 5640–5648. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2604364.
8. 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. Vol. 279. Pp. 11-27. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05209-0_2.
9. Vishnevsky V.M., Larionov A.A., Ivanov R.E., Dudin M. Applying graph-theoretic approach for time-frequency resource allocation in 5G MmWave backhaul network // Advances in Wireless and Optical Communications (RTUWO). 2016. Pp. 221–224. DOI: https://doi.org/10.1109/RTUWO.2016.7821888.
10. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic // IEEE/ACM Transactions on Networking. 1994. Vol. 2. № 1. Pp. 1–15.
11. Tsybakov B.S. Model' teletrafika na osnove samopodobnogo sluchaynogo protsessa // Radiotekhnika. 1999. No 5. Pp. 24–31. (In Rus)
12. Lucantoni D.M. (1993) The BMAP/G/1 queue: A tutorial // Performance Evaluation of Computer and Communication Systems. Performance 1993, SIGMETRICS 1993. Lecture Notes in Computer Science, Vol 729. Springer, Berlin, Heidelberg
13. Likhttsinder B.Ja. Bakai Yu.O. Models of group poisson flows in telecommunication traffic control. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2020. T. 28. No 3 (67). Pp. 75-89. (In Rus)
14. Likhttsinder B. Ya. Interval'nye kharakteristiki gruppovykh puassonovskikh modeley trafika telekommunikatsionnykh sistem. Infokommunikatsionnye tekhnologii. 2020. T. 18. No 3. Pp. 302-311. (In Rus)
15. Likhttsinder B.Ya. Trafik mul'tiservisnykh setey dostupa (interval'nyy analiz i proektirovanie). M.: Goryachaya liniya - Telekom, 2018. 290 p. (In Rus)
16. Blatov I.A., Likhttsinder B.Ya. O predel'nykh znacheniyakh dlin ocheredey v SMO s pachechnymi potokami. Infokommunikatsionnye tekhnologii/ Volume 16, No 2, 2018. Pp. 181-187 (In Rus)
17. Dubovskis V., Teilans A., Visockis N. IPTV Statistic Data Collection, Processing and Preparation for use in a Modeling System // Procedia Computer Science, Volume 77, 2015, Pp. 221-226, doi: 10.1016/j.procs.2015.12.376.
18. Moltchanov, D., Koucheryavy, Y., Harju, J. The model of single smoothed MPEG traffic source based on the D-BMAP arrival process with limited state space. In: Proceedings of ICACT 2003, Phoenix Park, South Korea, Pp. 57–63 (2003)
19. Fiems, D., Inghelbrecht, V., Steyaert, B., Bruneel, H. Markovian Characterisation of H.264/SVC Scalable Video // Материалы конференции Analytical and Stochastic Modeling Techniques and Applications: 15th International Conference, ASMTA 2008 Nicosia, Cyprus, June 4-6, 2008. Pp.1-15.

20. Kempken, S., Luther, W. Modeling of H.264 high definition video traffic using discrete-time semi-Markov processes // ITC 2007. LNCS, Vol. 4516. Springer, Heidelberg, 2007.