

# РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ДЕКОРРЕЛЯЦИИ ВРЕМЕННЫХ ИНТЕРВАЛОВ В СЕТЕВОМ УСТРОЙСТВЕ

DOI: 10.36724/2072-8735-2025-19-10-35-42

**Бурдин Антон Владимирович,**  
Поволжский государственный университет телекоммуникаций  
и информатики, г. Самара, Россия, [bourdine@psuti.ru](mailto:bourdine@psuti.ru)

**Manuscript received** 04 August 2025;  
**Accepted** 06 October 2025

**Осанов Владимир Андреевич,**  
Поволжский государственный университет телекоммуникаций  
и информатики, г. Самара, Россия, [v.osanov@psuti.ru](mailto:v.osanov@psuti.ru)

**Карташевский Игорь Вячеславович,**  
Поволжский государственный университет телекоммуникаций  
и информатики, г. Самара, Россия, [ivk@psuti.ru](mailto:ivk@psuti.ru)

**Ключевые слова:** декорреляция трафика, сетевая  
задержка, имитационное моделирование, спиральная  
перестановка, система массового обслуживания

Целью данной работы является разработка имитационной модели процесса декорреляции временных интервалов в сетевом устройстве. Декорреляция интервалов времени между пакетами на выходе сетевого устройства предлагается в качестве одного из возможных решений задачи снижения сетевой задержки и повышения качества обслуживания. Предлагается использовать алгоритм декорреляции, основанный на диагонально-блочном (спиральном) переборе. Отсчеты блока, представленные в виде вектора, построчно записываются в матрицу, после чего считываются диагонально, начиная с каждого нулевого элемента новой строки. Имитационная модель строится на основе системы массового обслуживания. На основе экспериментальных данных определяются вероятностные распределения времени поступления и обслуживания и их параметры. Экспериментально установлено, что в качестве распределения времени поступления может быть использовано распределение Эрланга, а в качестве распределения времени обслуживания – логнормальное распределение. Показано, что на временные параметры данной системы может оказывать прямое влияние размер блока декорреляции. В работе рассматриваются четыре варианта размерности блоков с разным количеством отсчетов. Это позволяет детально рассмотреть и оценить имитационную модель процесса декорреляции при разных исходных параметрах. Результаты показывают, что временные задержки в имитационной модели процесса декорреляции практически отсутствуют, к тому же возможно использование только одного канала обработки. Расчет среднего времени задержки одного требования в системе показывает, что этот показатель обуславливается только временем обработки требования.

#### Информация об авторах:

**Бурдин Антон Владимирович,** Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия, Профессор кафедры линий связи и измерений в технике связи. ORCID: 0000-0001-8737-5486

**Осанов Владимир Андреевич,** Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия, Старший преподаватель кафедры управления в технических системах. ORCID: 0000-0001-6031-3306

**Карташевский Игорь Вячеславович,** Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия, Заведующий НИЛ "Инновационные проекты". ORCID: 0000-0002-1388-4867

#### Для цитирования:

Бурдин А.В., Осанов В.А., Карташевский И.В. Разработка имитационной модели процесса декорреляции временных интервалов в сетевом устройстве // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Том 19. №10. С. 35-42.

#### For citation:

A.V. Bourdine, V.A. Osanov, I.V. Kartashevskiy, "A simulation model for the time interval decorrelation process in a network device," T-Comm, 2025, vol. 19, no.10, pp. 35-42. (in Russian)

Введение

Современные сети передачи данных сталкиваются с растущими требованиями к скорости и надежности, особенно в условиях распространения технологий реального времени, таких как дополненная и виртуальная реальности, IoT, онлайн-игры, видеоконференции, распределенные вычисления и др. Одной из ключевых проблем остается минимизация сетевой задержки [1]. Традиционные подходы к управлению сетями часто предполагают принятие мер реагирования и ручное вмешательство, чего может быть недостаточно во всё более сложных и динамичных сетевых средах. Для уменьшения задержек в сети предлагаются различные решения. Так, широко используются предиктивные модели, основанные на машинном обучении и нейронных сетях [2-4], модели, основанные на сжатии данных [5], модели управления очередями [6, 7] и многие другие.

Отдельно стоит подчеркнуть тот факт, что в различных случаях трафик в различных сетях моделируется на основе самоподобных процессов [8,9], которые обладают ярко выраженными автокорреляционными свойствами. Автокорреляции интервалов времени между пакетами характерна для передачи видео [10], и в том числе может негативно влиять на качество обслуживания [11, 12].

В [13] было также экспериментально показано, что при передаче данных по локальной сети в различных условиях (добавление конкурирующих потоков трафика, снижение пропускной способности), была выявлена связь между автокорреляцией временных интервалов времени между передаваемыми пакетами и значениями таких параметров качества обслуживания, как уровень потерь пакетов и сетевая задержка. Основываясь на полученных результатах, в качестве решения задачи уменьшения задержки и повышения качества обслуживания был предложен метод, основанный на декорреляции интервалов времени между пакетами на выходе сетевого устройства. Основным результатом данного подхода является снижение значений автокорреляционной функции временных интервалов до значений, стремящихся к нулю.

Целью настоящей работы является оценка временных затрат, необходимых на декорреляцию временных интервалов между пакетами в сетевом устройстве на основе имитационной модели данного процесса. Процесс декорреляции временных интервалов в сетевом устройстве можно представить в виде системы массового обслуживания (СМО). Имитационное моделирование подобной системы позволит решить ряд задач по оценке качества обслуживания, таких как определение необходимого количества каналов обслуживания, вычисление среднего времени задержки одного требования в системе и среднего времени задержки в очереди.

1 Декорреляция сетевого трафика

При передаче данных по сети пакеты формируются через определенные промежутки времени (отсчеты). Эти промежутки, каждый из которых поступает в момент времени  $t$ , представляют последовательность положительных рациональных чисел  $X = [x_1, x_2, \dots, x_k]^T$ , являющихся исходными данными для процесса декорреляции (рис. 1).

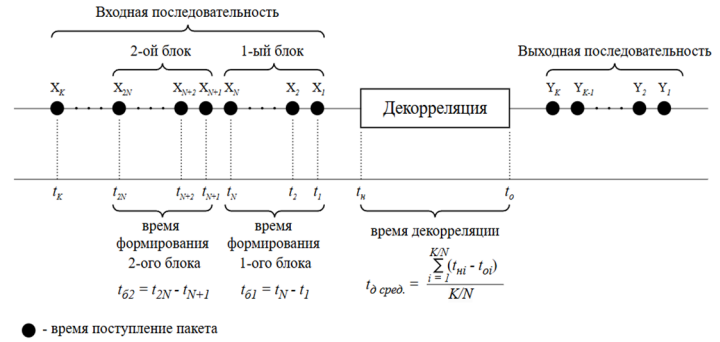


Рис. 1. Модель процесса декорреляции трафика

Декорреляция осуществляется по блокам отсчетов размером  $N = 2^k \cdot 10^L$  ( $k, L \in \mathbb{N}$ ). Время формирования каждого блока соответствует разности между временем поступления последнего и первого отсчетов в блоке:

$$t_{oi} = t_{iN} - t_{iN-N-1}, \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, \dots, K / N$

Предлагается использовать алгоритм декорреляции, основанный на диагонально-блочном (спиральном) переборе [14]. Отсчеты блока, представленные в виде вектора, построчно записываются в матрицу перемежения, после чего считываются диагонально, начиная с каждого нулевого элемента новой строки (рис. 2). В результате, на выходе получается блок, размером  $N$ , состоящий из новой последовательности отсчетов, соответствующим новым, декоррелированным интервалам времени. Время декорреляции блока  $t_{oi}$  напрямую зависит от его размерности  $N$  и вычислительной мощности устройства, реализующего этот процесс.

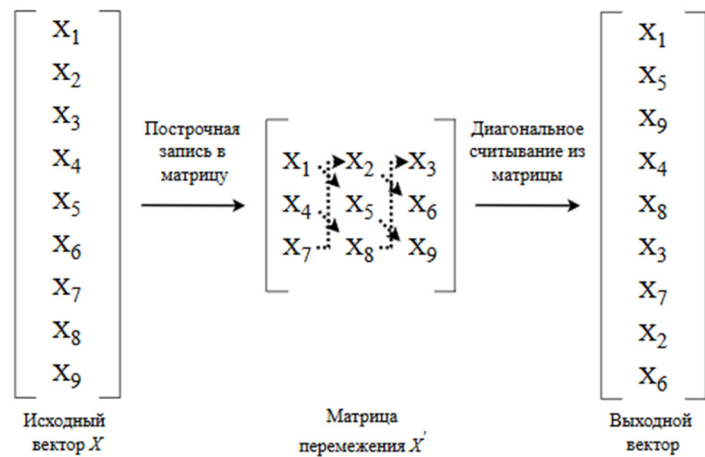


Рис. 2. Алгоритм диагонально-блочной декорреляции

Из всех блоков, прошедших через устройство декорреляции, формируется выходная последовательность  $Y$  временных отсчетов, которые выступают как промежутки между отправкой пакетов со стороны источника к клиенту.

Таким образом последовательность пакетов остается неизменной, но их передача осуществляется с новыми временными интервалами.

В случае, если время декорреляции текущего блока  $t_{\delta i}$  становится больше времени формирования последующего  $t_{\delta i+1}$ , тогда возникает очередь блоков на декорреляцию. Она может вносить определенную задержку по времени в процесс передачи данных. Решением данной задачи может стать использование дополнительных каналов, выполняющих процесс декорреляции параллельно первому. Это становится необходимо только в случае выполнения условия возникновения очереди:

$$t_{\delta i} > t_{\delta i+1} \quad (2)$$

Процесс выполнения декорреляции последовательности временных интервалов требует времени, которое влияет на сетевую задержку. Следовательно, возникает необходимость оценить уровень этой задержки и ее влияние на передачу данных по сети.

## 2 Модель системы массового обслуживания

Основываясь на описанном выше процессе, можно представить декорреляции как систему массового обслуживания. В качестве требований в данной СМО выступают блоки отсчетов, поступающие на устройство (канал) обслуживания – декоррелятор, который выполняет алгоритм диагонально-блочного перебора. Данная модель осуществляет обслуживание блоков в порядке их поступления друг за другом, то есть реализуется дисциплиной FIFO (First In, First Out). После прохождения декоррелятора требование покидает систему.

Для задания параметров СМО для имитационного моделирования необходимо задать распределение времени поступления и распределение времени обслуживания требований в системе.

Определение подходящих распределений для времени СМО осуществляется экспериментальным путем, на основе программной реализации генератора случайной последовательности чисел, соответствующих временным интервалам передачи пакетов, с заданным уровнем автокорреляции и программной реализацией алгоритма диагонально-блочного перебора.

На временные параметры данной системы оказывает прямое влияние размер блока декорреляции. В работе рассматриваются четыре варианта размерности блоков – 800, 1600, 3200 и 6400 отсчетов. Это позволит детально рассмотреть и оценить модель процесса декорреляции при разных исходных параметрах.

Моделирование последовательности временных отсчетов, с коэффициентом корреляции  $\rho_1 = 0.95$  осуществляется по формуле [15]:

$$\tau(n) = \xi_1^2(n) + \xi_2^2(n) = \sigma_0^2 ((\sqrt{1-r^2} x_1(n) + r\xi_1(n-1))^2 + (\sqrt{1-r^2} x_2(n) + r\xi_2(n-1))^2)$$

где  $x_1(n)$  и  $x_2(n)$  последовательности независимых нормально распределенных случайных чисел с нулевым средним и единичной дисперсией,  $\xi_1^2 = \sigma_0^2 (\sqrt{1-r^2} x_1(n) + r\xi_1(n-1))^2$ ,  $\xi_2^2 = \sigma_0^2 (\sqrt{1-r^2} x_2(n) + r\xi_2(n-1))^2$ ,  $r^2 = \rho_1$ .

Результат декорреляции последовательности, размером 6400 отсчетов, на основе диагонально-блочного перебора представлен на рисунке 3.

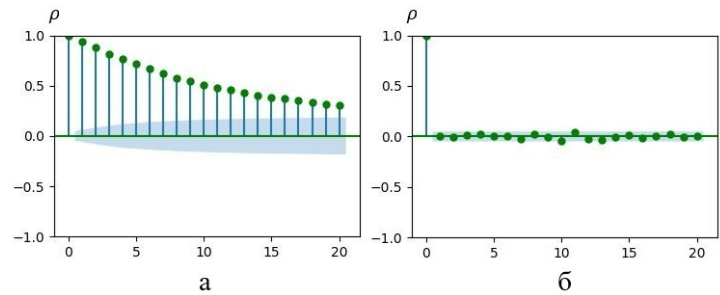


Рис. 3. Автокорреляционные функции: а – сгенерированная последовательность; б – декоррелированная последовательность

Вычисление времени формирования осуществляется путем сложения всех отсчетов в рамках каждого блока. Распределение определяется через построения гистограммы распределения времени формирования блоков декорреляции разной размерности (рис. 4) и последующей проверки гипотезы о виде распределения на основе критерия Колмогорова-Смирнова.

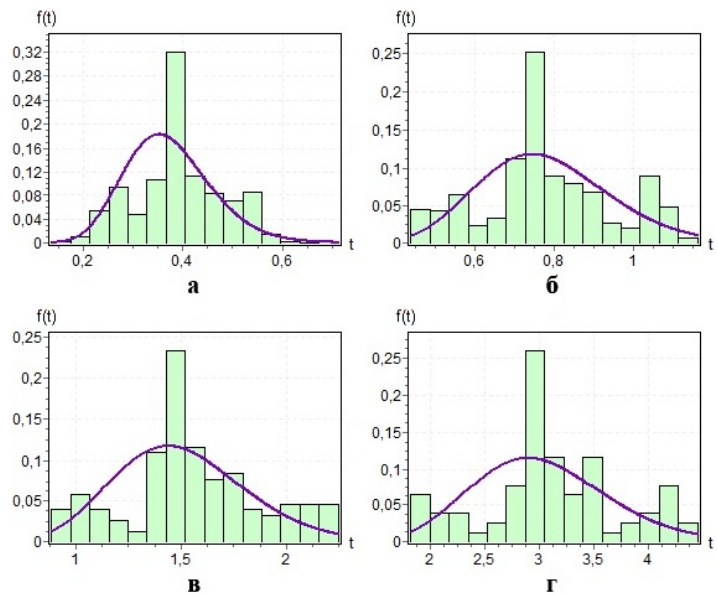


Рис. 4. Распределение времени поступления блоков размером: а – 800 отсчетов; б – 1600 отсчетов; в – 3200 отсчетов; г – 6400 отсчетов

По виду полученных гистограмм можно невозможно сделать однозначный вывод о виде распределения, однако можно предположить, что подобный набор интервалов будет стремиться к нормальному распределению. Это соответствует центральной предельной теореме, согласно которой сумма большого количества случайных величин стремится к нормальному распределению. Однако в случае использования нормального распределения могут возникнуть и отрицательные значения случайной величины, что не может соответствовать значению времени. Следовательно, предлагается использовать в качестве распределения времени формирования требований распределение Эрланга  $m$ -го порядка, которое не имеет отрицательных значений [16]:

$$f(x) = \frac{x^{m-1}}{\beta^m \Gamma(m)} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

где  $\Gamma(m)$  – гамма-функция;  $m$  – параметр формы,  $m > 0$ ;  $\beta$  – масштабный параметр,  $\beta > 0$ .

С помощью программы статистического анализа, на основе полученной гистограммы распределения и критериев согласия были определены исходные параметры (таблица 1) распределения Эрланга для каждого из рассматриваемых вариантов размера блоков.

Таблица 1

Параметры распределения Эрланга для модели СМО декорреляции

Размер блока декорреляции	Параметры распределения	
	$m$	$\beta$
800 отсчетов	19	0.01955
1600 отсчетов	22	0.03546
3200 отсчетов	23	0.06544
6400 отсчетов	24	0.12592

К каждому блоку, сформированному из сгенерированной последовательности, был применен алгоритм диагонально-блочного перебора. При этом фиксировалось время, затрачиваемое для декорреляции каждого блока. В результате были сформированы четыре последовательности времени обработки (времени, затрачиваемого на декорреляцию) при четырех вариантах размера исходного блока декорреляции. Для каждой построены гистограммы распределения (рис. 5).

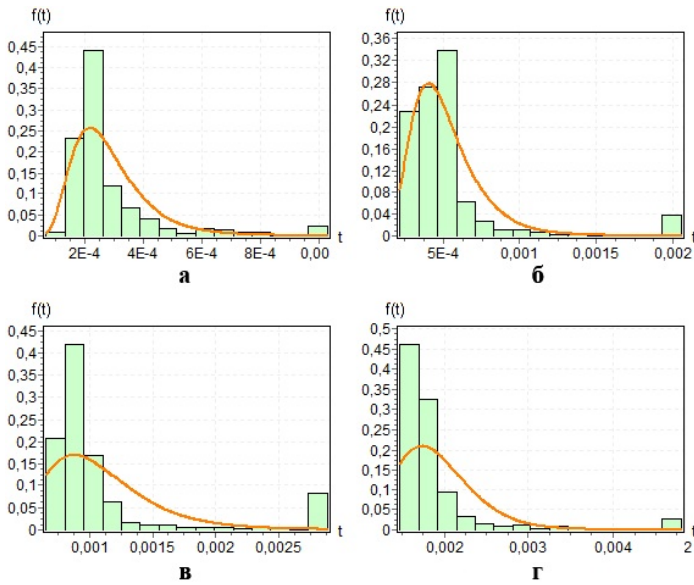


Рис. 5. Распределение времени обработки блоков размером: а – 800 отсчетов; б – 1600 отсчетов; в – 3200 отсчетов; г – 6400 отсчетов

Рассмотрев полученные результаты, было определено, что в качестве распределения времени обработки блоков декорреляции можно использовать логнормальное распределение [16]:

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

где  $\sigma$  – параметр формы,  $\sigma > 0$ ;  $\mu$  – масштабный параметр,  $\mu \in (-\infty; +\infty)$ .

На основе гистограмм времени обработки блоков были рассчитаны параметры (таблица 2) для логнормального распределения.

Таблица 2

Параметры логнормального распределения для модели СМО декорреляции

Размер блока декорреляции	Параметры распределения	
	$\sigma$	$\mu$
800 отсчетов	0.4193	-8.2602
1600 отсчетов	0.4046	-7.6580
3200 отсчетов	0.3717	-6.9057
6400 отсчетов	0.2378	-6.3019

Следующий параметр, определяющий СМО, – число каналов обслуживания (декорреляторов). Определение количества устройств обработки блоков отсчетов является одним из важных этапов организации процесса декорреляции сетевого трафика. Аналитический анализ экспериментальных данных, полученных при программной реализации декорреляции, приводит к выводу, что время обслуживания на порядок ниже времени поступления при всех вариантах размера блока. Это означает, что для первоначального исследования можно рассмотреть одноканальную модель в рамках имитационного моделирования, с целью определения возможности появления очереди и необходимости добавления новых каналов.

При возникновении условия (2) в системе формируется очередь из блоков отсчетов. Так как все блоки исходной последовательности  $X$  должны пройти через декоррелятор, то рассматриваемая модель относится к СМО с ожиданием. То есть, если в процессе декорреляции возникает очередь, то новые требования, поступающие на обслуживание, не покидают систему, а остаются в накопителе (очереди) в состоянии ожидания до момента появления свободного канала на обслуживание.

Обобщая все рассмотренные параметры, предлагается представить СМО декорреляции как одноканальную модель (рис. 6) с ожиданием.

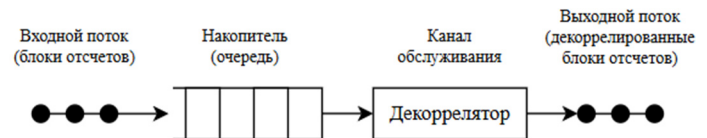


Рис. 6. Модель СМО процесса декорреляции сетевого трафика

### 3 Имитационное моделирование

Оценка характеристик предложенной СМО декорреляции основывается на имитационном моделировании в системе AnyLogic.

Собранная модель состоит из нескольких элементов. Первым является элемент формирования требований (input) в определенные моменты времени, задаваемые Эрланговским распределением. Для очереди из требований, в случае занятости устройства обработки, используется накопитель (queue). Работу декоррелятора (decorrelator) имитирует блок временной задержки, который останавливает прохождение требования в модели на время, заданное логнормальным распределением и соответствующее временному промежутку обработки одного блока отсчетов.

После чего следует элемент удаления (output) требования из модели. Для определения времени нахождения требований в системе используются элементы фиксирующие временные значения (timeStart и timeEnd), для определения времени поступления и завершения обработки каждого блока отсчетов.

Имитационное моделирование было проведено для каждого варианта размера блоков декорреляции. Моделирование декорреляции трафика осуществлялось в течение одного часа.

Выходными данными (рис. 7) выступают – количество требований (блоков отсчетов), прошедших через систему; количество элементов, находящихся в момент окончания моделирования в элементе накопителя (в очереди); время поступления, обслуживания и ухода из системы каждого из требований. В случае каждого из рассматриваемых вариантов моделей СМО, при разных размерах блоков декорреляции, все требования, которые поступили, были обработаны. То есть ни в одном из рассматриваемых случаев в системе нет не обслуженных требований.

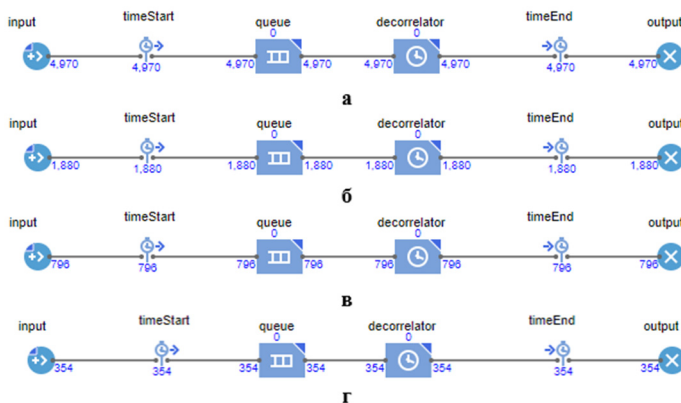


Рис. 7. Результаты моделирования СМО процесса декорреляции блоков размером: а – 800 отсчетов; б – 1600 отсчетов; в – 3200 отсчетов; г – 6400 отсчетов

Важной характеристикой СМО является показатель загрузки системы ( $\rho$ ). Для определения этого параметра необходимо рассчитать интенсивность поступления ( $\lambda$ ) и интенсивность обслуживания ( $\mu$ ). Параметр  $\lambda$  показывает среднее количество заявок в единицу времени. Следовательно, поделив количество поступающих в систему требований на 3600 секунд (время моделирования системы), можно получить значение  $\lambda$  для каждого варианта размерности входного блока. Интенсивность обслуживания  $\mu$  показывает среднее число заявок, обслуживаемое одним каналом за единицу времени. Этот показатель рассчитывается путем деления единицы на среднее время обслуживания требований за один час.

Вычисление основных характеристик для всех четырех моделей представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики модели СМО процесса декорреляции

Размер блока декорреляции	Характеристики	
	$\lambda$ , [кол-во блоков / с]	$\mu$ , [кол-во блоков / с]
800 отсчетов	1.380	481080.176
1600 отсчетов	0.522	257187.527
3200 отсчетов	0.221	128420.134
6400 отсчетов	0.098	66124.347

Загрузка определяется соотношением рассчитанных показателей  $\rho = \lambda / \mu$ .

Полученные низкие значения интенсивности (рис. 8) для каждого варианта модели подтверждает тот факт, что рассматриваемая СМО процесса декорреляции может справиться с поступающими заявками без задержек.

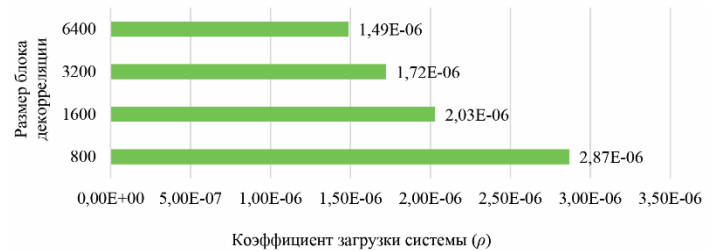


Рис. 8. Интенсивность нагрузки СМО процесса декорреляции при разных размерах исходного блока

Главной характеристикой системы является среднее время пребывания (задержки) требования в системе  $E(T)$ . Так как  $\rho \ll 1$ , то средняя задержка требований в системе определяется только обслуживанием [5].

Экспериментальным путем построены гистограммы распределения времени пребывания требований (рис. 9) в смоделированной СМО для двух вариантов размера блока декорреляции – минимального (800 отсчетов) и максимального (6400 отсчетов).

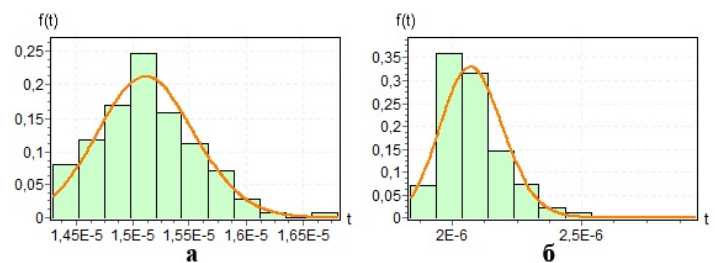


Рис. 9. Распределение времени пребывания требования в СМО процесса декорреляции при размере блока: а – 800 отсчетов; б – 6400 отсчетов

Полученные распределения соответствуют виду исходного логнормального распределение (рис. 5) времени обработки требований. Это подтверждает, что время задержки требования в рассматриваемой системе характеризуется только временем обслуживания и очереди в СМО не возникает.

На основе собранных временных показателей пребывания каждой заявки во всех четырех вариантах СМО процесса декорреляции определено  $E(T)$  (табл. 4).

Таблица 4

Среднее время пребывания заявки в СМО, полученное в результате моделирования

Размер блока декорреляции	800 отсчетов	1600 отсчетов	3200 отсчетов	6400 отсчетов
$E(T)$ , с.	0.00000208	0.00000039	0.00000078	0.00000151

Значение характеристики так же можно получить путем математических расчетов с помощью формулы Литтла [5]:

$$E(T) = \frac{1}{\mu(1-\rho)}$$

Расчитанные значения  $E(T)$  рассматриваемой СМО (рис. 10) при разных размерах блока декорреляции соответствуют значениям среднего времени пребывания требований, полученным на основе имитационного моделирования (табл/ 4).

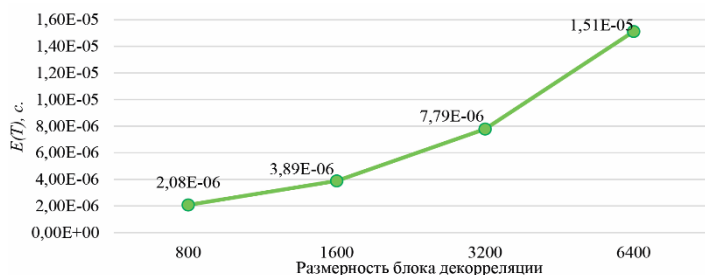


Рис. 10. Среднее время пребывания требования в СМО процесса декорреляции при разном размере блока декорреляции

Анализ представленных результатов показывает, что в такой системе вероятность возникновения очереди сводится к нулю, а время задержки требования в системе соответствует времени его обслуживания.

Моделирование предложенной СМО так же демонстрирует, что с увеличением размера блока декорреляции, уменьшается количество пакетов (рис. 7), проходимых через систему. При размере блока в 800 отсчетов СМО способна обработать 4970 блоков, что соответствует 3 976 000 временным интервалам между передачей пакетов, то есть передаче 3 976 001 пакетов за один час. При этом, за такой же промежуток времени, система при размерности блока из 6400 отсчетов может обработать 354 блока и передать 2 265 601 пакет. Значит увеличение размера блока декорреляции влияет на количество передаваемых пакетов данных за единицу времени.

Это обусловлено не только временем обработки каждого из блоков. Как видно из результатов моделирования (рис. 10), разница между средними значениями обработки одного блока разных размеров не является существенной. Однако, особое влияние оказывает именно время формирования блоков пакетов (рис. 11). Так как этот показатель на порядок превышает время обработки, следовательно, в системе образуются простои, в момент, когда текущий блок уже прошел обработку декорреляции, а следующий еще не был сформирован.

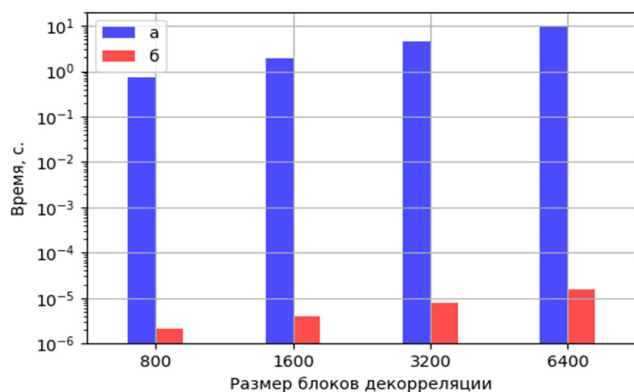


Рис. 11. Средние значения временных параметров СМО процесса декорреляции: а – время поступления блока; б – время обслуживания блока

#### 4 Выводы

Результатом работы является разработанная имитационная модель процесса декорреляции временных интервалов в сетевом устройстве. Результаты имитационного моделирования подтверждают, что процесс декорреляции трафика в сетевом устройстве можно представить как модель СМО вида  $E_m/G/1$  – одноканальная система массового обслуживания с одним обслуживающим устройством, Эрланговским распределением входящего потока, логнормальным распределением времени обслуживания и дисциплиной обслуживания FIFO.

Анализ результатов моделирования, в частности расчет интенсивности загрузки системы, подтверждает возможность использования только одного канала обработки требований. Расчет среднего времени задержки одного требования в системе показывает, что этот показатель обуславливается только временем обработки требования. Следовательно, в модели СМО процесса декорреляции отсутствуют очереди на обслуживание. Однако, сравнение средних показателей времени поступления и обработки требования показало наличие простоев в системе. Решение задачи устранения этих простоев является следующим шагом для реализации устройства декорреляции трафика.

#### Литература

1. Mohammed Z.A., Mohammed M., Mohammed A.J., Mohammed U.M. Capturing and Mitigating Network Delay and Packet Loss Using Artificial Intelligence // International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 2024. vol.11., 1.7, pp.902-913.
2. Dhakad A., Singh S., Mohana, Moharir M., Kumar A. Real Time Network Traffic Analysis Using Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning: A Review of Methods, Tools and Applications // Proceedings of the International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS 2023), pp.372-378.
3. Phadke J. Latency Reduction Techniques In High Speed Data Networks // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). vol.12. 1.10. DOI: 10.17577/IJERTV12IS100001.
4. Абделлах А.Р., Махмуд О.А., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е. Прогнозирование задержки в сетях интернета вещей и тактильного интернета с использованием машинного обучения // Электросвязь. 2021. № 1. С. 23-27.
5. Фук Х.Д., Березкин А.А., Парфенов Д.Д., Кукунин Д.С., Киричек Р.В. Анализ методов минимизации сетевой задержки в каналах связи при передаче трафика промышленного интернета вещей // Электросвязь. 2023. № 1. С. 8-16.
6. Su H., Wang S., Yang S., Huang T., Ren X. Reducing Traffic Wastage in Video Streaming via Bandwidth-Efficient Bitrate Adaptation // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2024. vol.23. no.11. pp.10361-10377.
7. Wei D., Yang L., Pan C., Shen T. Queue Management Algorithm for Network Based on Traffic Self-similarity // Computer Engineering. 2024. 50(5). pp.306-312.
8. Popoola J., Popoola O., Olaniran O. Modelling Internet Traffic Streams with Ga/M/1/K Queuing Systems under Self-similarity // Tanzania Journal of Science. vol.48. No.2. 2022. pp.394-401
9. Татарникова Т.М. Особенности имитационного моделирования обслуживания самоподобного трафика инфокоммуникационных сетей // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №9. С. 13-19.
10. Morin D. G., Medda D., Iossifides-Iosifidis A., Chatzimisios P., Armada A.G., Villegas A., Perez P. An eXtended Reality Offloading IP Traffic Dataset and Models // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2023. vol. 23. no.6. pp. 6820-6834
11. Biernacki A. Analysis of aggregated HTTP-based video traffic // Journal of Communications and Networks. 2016. vol.18. no.5. pp. 826-846.

12. *Biernacki A.* Analysis and modelling of traffic produced by adaptive HTTP-based video // *Multimedia Tools and Applications*. 2017. vol.76. no.10. pp.12347-12368.

13. *Карташевский И.В., Осанов В.А., Малахов С.В., Якупов Д.О.* Исследование алгоритма декорреляции сетевого трафика на основе вейвлет преобразования // *Инфокоммуникационные технологии*. 2024. Т. 22. № 1(85). С. 24-31.

14. *Осанов В.А., Карташевский И.В., Малахов С.В., Якупов Д.О.* Реализация задачи декорреляции сетевого трафика // *Материалы*

XXV Всероссийской конференции молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям. Новосибирск. 2024. С. 52.

15. *Быков В.В.* Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Сов. радио, 1971. 326 с.

16. *Алиев Т. И.* Основы моделирования дискретных систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.

17. *Кельтон В., Лоу А.* Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. СПб: Питер, 2004. 847 с.

## A SIMULATION MODEL FOR THE TIME INTERVAL DECORRELATION PROCESS IN A NETWORK DEVICE

**Anton V. Bourdine**, *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia,*  
ORCID: 0000-0001-8737-5486. [bourdine@psuti.ru](mailto:bourdine@psuti.ru)

**Vladimir A. Osanov**, *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia,*  
ORCID: 0000-0001-6031-3306. [v.osanov@psuti.ru](mailto:v.osanov@psuti.ru)

**Igor V. Kartashevskiy**, *Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia,*  
ORCID: 0000-0002-1388-4867. [ivk@psuti.ru](mailto:ivk@psuti.ru)

### Abstract

The objective of this work is to develop a simulation model of the time interval decorrelation process in a network device. Decorrelation of time intervals between packets at the output of a network device is proposed as one of the possible solutions to the problem of reducing network latency and improving quality of service. It is proposed to use a decorrelation algorithm based on spiral permutation. Block samples, presented as a vector, are written row by row into a matrix. After they are read diagonally, starting with each zero element of a new row. The simulation model is built on the basis of a queueing system. The probability distributions of arrival and service times and their parameters determined with an experiment. Erlang distribution can be used as the arrival time distribution, and the lognormal distribution can be used as the service time distribution, experiment says. But the time parameters of this system can be directly affected by the decorrelation block size. We consider four variants of block dimensions with different numbers of samples. This allows us to consider in detail and evaluate the simulation model of the decorrelation process with different initial parameters. The results show that there are no time delays in the simulation model of the decorrelation process, and it is also possible to use only one channel. Calculation of the average waiting time of one request in the system shows this indicator is determined only by the time of request processing.

**Keywords:** *traffic decorrelation, network latency, simulation modeling, spiral permutation, queueing system*

### References

[1] Z.A.Mohammed, M. Mohammed, A. J. Mohammed and U.M. Mohammed, "Capturing and Mitigating Network Delay and Packet Loss Using Artificial Intelligence," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2024, vol.11, 1.7, pp. 902-913.

[2] A. Dhakad, S.Singh, Mohana, M.Moharir and A. Kumar, "Real Time Network Traffic Analysis Using Artificial Intelligence, Machine Learning and Deep Learning: A Review of Methods, Tools and Applications," in *Proceedings of the International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS 2023)*, 2023, pp. 372-378.

- [3] J. Phadke, "Latency Reduction Techniques In High Speed Data Networks," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2023, vol.12, I.10, DOI : 10.17577/IJERTV12I100001
- [4] A.R. Abdellach, O.A. Mahmood, A.I. Paramonov, and A.E. Koucheryavy, "Delay prediction in iot and tactile internet using machine learning approach," *Electrosvyaz*, 2021, no. 1, pp. 23-27. (in Russian)
- [5] H.Do. Phuc, A.A. Berezkin, D.D. Parfenov, D.S. Kukunin, and R.V. Kirichek, "Analysis of methods for minimizing network delay in communication channels during the transmission of industrial internet of things traffic," *Electrosvyaz*, 2023, no. 1, pp. 8-16. (in Russian)
- [6] H. Su, S. Wang, S. Yang, T. Huang and X. Ren, "Reducing Traffic Wastage in Video Streaming via Bandwidth-Efficient Bitrate Adaptation," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2024, vol. 23, no. 11, pp. 10361-10377.
- [7] D. Wei, L. Yang, C. Pan, and T. Shen, "Queue Management Algorithm for Network Based on Traffic Self-similarity[J]," *Computer Engineering*, 2024, 50(5), pp. 306-312.
- [8] J.Popoola, O.Popoola and O.Olaniran "Modelling Internet Traffic Streams with Ga/M/1/K Queuing Systems under Self-similarity," *Tanzania Journal of Science*, vol.48, no.2, 2022, pp. 394-401.
- [9] T.M. Tatarnikova, "Features simulation modeling of self-similar traffic service in infocommunication networks," *T-Comm*, 2024, vol. 18, no.9, pp. 13-19. (in Russian)
- [10] D. G. Morzn et al., "An eXtended Reality Offloading IP Traffic Dataset and Models," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2023, vol. 23, no. 6, pp. 6820-6834.
- [11] A. Biernacki, "Analysis of aggregated HTTP-based video traffic," *Journal of Communications and Networks*, 2016, vol.18, no.5, pp. 826-846
- [12] A. Biernacki, "Analysis and modelling of traffic produced by adaptive HTTP-based video," *Multimedia Tools and Applications*, 2017, vol.76, no.10, pp. 12347-12368
- [13] I.V. Kartashevskiy, V.A. Osanov, S.V. Malakhov and D.O. Iakupov, "Research of network traffic decorrelation algorithm based on wavelet transformation," *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2024, vol. 22, no. 1(85), pp. 24-31. (in Russian)
- [14] V.A. Osanov, I.V. Kartashevskiy, S.V. Malakhov and D.O. Iakupov, "Implementation of the network traffic decorrelation problem" in *XXV Russian conference of young scientists on mathematical modeling and information technologies*, Novosibirsk, Russia, 2024, p. 52. (in Russian)
- [15] V.V. Bykov, *Digital modeling in statistical radio engineering*, Moscow: Sov. radio, 1971. (in Russian)
- [16] T.I. Aliev, *Fundamentals of discrete systems modeling*, Saint Petersburg: SPbGU ITMO, 2009. (in Russian)
- [17] A.M. Law and W.D. Kelton, *Simulation Modeling*. CS Classics. 3rd ed.. Saint Petersburg: Piter, 2004. (in Russian)