



Особенности моделирования специализированной вычислительной системы

При разработке распределённых вычислительных систем с параллельной обработкой данных возникает задача оценки влияния значений рабочей нагрузки и структуры на показатели её производительности. Одним из ключевых моментов в данной задаче становится оценка влияния различных дисциплин приоритизации на временные характеристики возникающих очередей заявок в системе, для проведения которой используются статистические методы анализа данных.

Целью данного исследования является составление метода построения имитационной модели, которая позволит оценить временные характеристики системы в зависимости от изменяющихся значений рабочей нагрузки и алгоритма обработки приоритетов. Метод основан на совместном использовании разработанной имитационной модели, детально описывающей функционирование системы рассматриваемого класса во времени с учётом конфликтных ситуаций, возникающих при параллельной обработке информации, и экспериментально полученных отдельных временных характеристик системы.

Материалы и методы. Модель реализована на языке GPSS. Рассмотрены все этапы применения представленного метода. Приведены примеры рабочей нагрузки для проведения моделирования. Даны обоснования для использования представленных данных, а также принципы, с использованием которых они были выбраны. Для анализируемого класса задач проведено имитационное моделирование функционирования вычислительной системы.

В ходе построения имитационной модели системы в качестве имитируемых функциональных узлов были выбраны специализированное устройство сбора данных в качестве источника запросов; коммутатор, для которого производится моделирование очереди заявок с различным приоритетом; устройство обработки данных, являющееся конечным получателем данных.

Типы используемых алгоритмов для решения задачи приоритизации заявок взяты на основе распространённых алгоритмов приоритизации, свойственных для службы Quality of Service (QoS), используемой в современном коммутационном оборудовании. Были рассмотрены 3 алгоритма приоритизации: без использования приоритетов в качестве эталона; приоритетная очередь; Weighted Round Robin в качестве более комплексного алгоритма.

Данные о времени обработки различных типов запросов были получены экспериментальным методом при использовании средства анализа сетевого трафика Wireshark. Полученные времена, а также интенсивность поступления заявок на обработку заявок и соотношение заявок различных типов являются параметрами созданной модели и могут быть изменены для моделирования другой системы с аналогичной архитектурой.

Результаты. На основании анализа полученных результатов моделирования показано влияние различных дисциплин обработки приоритетов заявок в очередях на показатели производительности системы. Для анализа полученных данных используется регенеративный метод анализа модели. Представленный метод позволяет провести детальный анализ временных характеристик системы с учётом приоритизации заявок при их обработке в очередях.

Заключение. Произведённый анализ исследований показывает невозможность получения данных метрик средствами аналитического моделирования, что подчёркивает новизну исследования. Метод, полученный в ходе исследования, используется в ходе разработки систем представленного класса, что подчёркивает его практическую значимость и актуальность.

Ключевые слова: распределённые вычислительные системы, имитационное моделирование, регенеративный метод, GPSS.

Galina A. Zvonareva¹, Denis S. Buzunov²

¹ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

² LTD "Constanta-Design", Moscow, Russia

Peculiarities of Modeling a Specialized Computing System

When developing distributed computing systems with parallel data processing, there is a problem of assessing the impact of workload values and structure on its performance indexes. One of the key points in this problem is to assess the impact of various prioritization disciplines on the time characteristics of emerging request queues in the system, for which statistical methods of data analysis are used.

The goal of this study is to develop a method for constructing a simulation model that will allow estimating the time characteristics of the system depending on changing workload values and a priority-processing algorithm. The method is based on the joint use of the developed simulation model, which describes in detail the functioning of the system of the considered class in time, taking into account conflict situations arising during parallel processing of information, and experimentally obtained individual time characteristics of the system.

Materials and methods. The model is implemented in the GPSS language. All stages of applying the presented method are considered.

Examples of workload for modeling are given. Justifications for using the presented data, as well as the principles by which they were selected, are given. For the analyzed class of problems, simulation modeling of the computing system was carried out. During the construction of the simulation model of the system a specialized data acquisition device as source of requests; a switch for which a request queue with different priorities is simulated; a data processing device, which is the final recipient of the data were selected as simulation functional nodes.

The types of algorithms used to solve the request prioritization problem are taken from common prioritization algorithms typical for the Quality of Service (QoS), used in modern switching equipment. Three prioritization algorithms were considered: without using priorities as a standard; priority queue; Weighted Round Robin as a more complex algorithm.

Data on the processing time of various types of requests were obtained

experimentally using the Wireshark network traffic analysis tool. The obtained times, as well as the intensity of requests for request processing and the ratio of requests of different types are parameters of the created model and can be changed to simulate another system with a similar architecture.

Results. Based on the analysis of the obtained modeling results, the influence of various disciplines for processing request priorities in queues on the system performance indexes is shown. Regenerative model analysis method is used to analyze the obtained data. The obtained method allows for a detailed analysis of the system's time

characteristics, taking into account the prioritization of requests when they are processed in queues.

Conclusion. The conducted research analysis shows the impossibility of obtaining these metrics by means of analytical modeling, which emphasizes the novelty of the study. The method obtained during the study is used in the development of systems of the presented class, which emphasizes its practical significance and relevance.

Keywords: distributed computing systems, simulation modeling, regenerative method, GPSS.

Введение

Для решения задач специального назначения используются распределённые вычислительные системы (ВС), характеризующиеся параллельной обработкой информации. При этом в процессе разработки важно оценить производительность разрабатываемой системы и её потенциально узкие места. Для анализа таких систем в настоящее время используются методы аналитического и имитационного моделирования.

Для оценки показателей производительности широко используются методы аналитического моделирования [1, 2, 3, 4, 5]. Составление аналитических моделей требует приведения рассматриваемой системы к высокой степени абстракции, и зачастую каждый отдельный метод будет давать данные о узком спектре интересующих данных.

Так, в работе [1] рассматриваются методы, позволяющие оценить ускорение работы системы от использования параллелизма, однако в них не рассматривается проблема приоритетов различных типов заявок. Существующие подходы составления вероятностных [2] и эталонных [3] моделей дают данные для более глубокого анализа в зависимости от параметров рабочей нагрузки, однако также не затрагивают вопросы приоритетов задач. Все рассмотренные примеры также не позволяют детально учитывать возникающие конфликтные ситуации, возникающие в ходе работы функционирования параллельных

систем рассматриваемого класса. Аналогичными свойствами обладают модели, основанные на использовании моделей с расписанием [4, 5].

Таким образом можно заключить, что аналитические подходы к решению проблемы оценки временных характеристик систем не являются достаточными в том случае, если для полноценного анализа необходимо собирать информацию, получаемую в ходе имитации функционирования вычислительной системы, а также в случаях, когда обрабатываемые системой задачи не являются однородными, и очередность их обработки имеет прямое значение на её пригодность для решения поставленной задачи.

Для получения отдельных показателей производительности системы, например, значений временных задержек при выполнении отдельных задач, более предпочтительно использовать методы имитационного моделирования [6, 7]. Их использование позволяет приблизить структуру и логику созданной модели к поведению реальной системы. Также становится возможным получение данных о динамических характеристиках системы, которые проявляются в ходе её работы при таких процессах, как появление очередей заявок. Особенно важно это становится при рассмотрении влияния различных алгоритмов функционирования системы на эти показатели.

При рассмотрении изучаемой в этой статье системы использование именно имитационного моделирования ста-

новится более актуальным, так как производительность системы сильно зависит от протекания в ней параллельных процессов поступления заявок в систему, а также решения задачи обработки заявок, имеющих различный приоритет. При этом задержки, вызванные процессом обработки накопившейся очереди заявок, являются критичными для функций системы, и являются одним из объектов изучения.

На основании полученных результатов моделирования при различных значениях рабочей нагрузки можно более полно исследовать систему в целом. Для статистического анализа полученных данных применяется регенеративный метод анализа модели, использование которого рассмотрено в работе [8,9]. В его основе понятие регенеративного процесса — процесс, который постоянно возвращается в определённую точку, и развитие которого после возвращения в эту точку не зависит от прошлых данных. В данном случае такой точкой можно считать поступление пакетов данных на обработку, при условии отсутствия в системе необработанных данных. При использовании регенеративного метода анализа моделей, анализируя каждый цикл процесса как отдельный эксперимент, можно оценить точность полученных результатов.

Рассматриваемая система основана на использовании технологии Ethernet, что даёт возможность использовать технические документы [10] и описания различных алгоритмов [11, 12] как основу для со-

ставления модели, достоверно имитирующей реальную систему. Так же использование экспериментальных данных, полученных с использованием анализатора сетевого трафика Wireshark на аналогичной по структуре стендовой системе позволяет более достоверно оценить значения задержек, используемых в имитационной системе.

Таким образом, исходя из проведённого анализа, разработка метода, который позволит детально учитывать поведение распределённой ВС с параллельной обработкой информации с учётом возникающих конфликтных ситуаций с целью решения задачи оценки влияния алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки на временные характеристики системы, является актуальной.

Постановка задачи

Целью данной работы является создание метода построения имитационных моделей для распределённых систем с параллельной обработкой информации, позволяющего оценивать влияние алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки на временные характеристики системы, а также статистический анализ данных, полученных в ходе моделирования.

Для реализации данного метода необходимо решить следующие задачи:

- разработать имитационную модель функционирования распределённой вычислительной системы, детально описывающую временное поведение системы с учётом возникновения конфликтных ситуаций;
- получить экспериментальные данные для задания временных параметров имитационной модели с целью повышения достоверности получаемых результатов;
- провести оценку влияния алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки

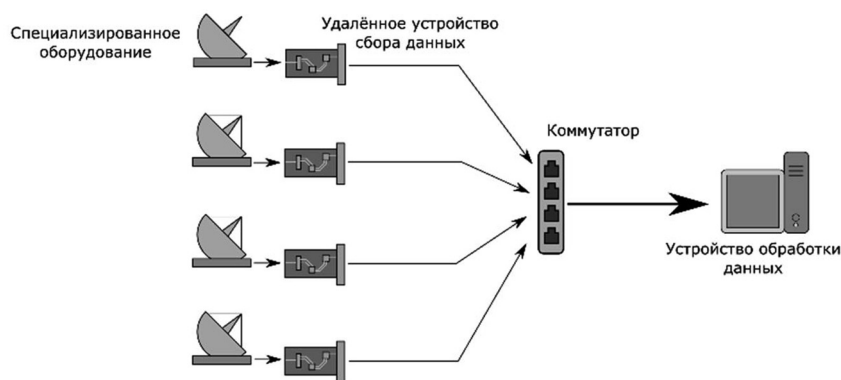


Рис. 1. Структурная схема распределённой параллельной вычислительной системы.

Fig. 1. Structural diagram of a distributed parallel computer system

на временные характеристики системы при использовании предложенного метода.

Специфика рассматриваемого класса вычислительных систем связана с удалённым расположением узлов системы друг от друга; высокой специализацией отдельных элементов, что определяется решаемыми задачами.

Основой для данного исследования стала распределённая вычислительная система, рассматриваемый участок которой схематично представлен на рисунке 1. В себя система включает следующие типы элементов:

- Удалённые устройства сбора данных – специализированные модули для первичной обработки данных и передаче их на устройство обработки информации. Они являются источниками таких характеристик, как частота отправки данных, типы отправляемых данных и др.
- Коммутатор – позволяет соединить множество удалённых устройств сбора данных с устройством обработки информации. При этом в процессе передачи сетевых пакетов с высокой долей вероятности образуются очереди, влияющие на время пребывания информации в системе.
- Устройство обработки информации – конечный потребитель данных в системе, занимающийся обработкой полученных данных.

Создаваемая модель распределённой ВС должна отображать процессы, происходящие в реальной системе, и позволять давать оценку интересующим нас параметрам производительности системы. Для этой задачи наиболее подходящим является имитационное моделирование на системном уровне, в ходе которого система будет представлена в виде отдельных функциональных блоков, имитирующих внешнее поведение их реальных прообразов.

При составлении модели необходимо также учитывать параметры рабочей нагрузки. К ним относятся тип и объем пересылаемых данных, интервалы времени между поступлением данных в систему, очередность поступления различных типов данных и др.

В системе существует несколько типов данных, поступающих на обработку, различающимися требованиями ко времени обработки. В соответствии с этим, каждый тип обладает своим приоритетом, и наивысший приоритет имеет преимущество при определении очередности обработки данных. При этом из-за того, что система работает в режиме реального времени, становится важным вопрос о том, сколько времени заявки каждого типа проводят в системе.

Из-за того, что некоторые типы данных в своём прикладном представлении могут

иметь большой объём, то передача их по сети приводит к разбиению на отдельные сетевые пакеты в соответствии с максимальным размером единичного пакета, который допускает стандарт используемой сети. В данном случае используется сеть стандарта Ethernet, maximum transmission unit (MTU) которого составляет 1500 байт [10]. Это должно быть отражено в параметрах рабочей нагрузки с помощью создания нескольких заявок, имитирующих разделение блока данных на ряд пакетов.

В процессе моделирования, когда это возможно, следует использовать данные, свойственные реальной системе. При проведении моделирования для получения информации о времени передачи пакетов данных в системе использовался стенд, и ПО для анализа сетевого трафика, такое как Wireshark. Так как основным узлом возникновения очередей в системе является коммутатор, в качестве основного источника для предложенных алгоритмов обработки приоритетов являются алгоритмы, используемые в технологии Quality of Service (QoS) [11, 12]. Наиболее предпочтительно рассматривать именно те алгоритмы, которые поддерживаются коммутатором, представленным в реальной системе. Таким образом выбранный алгоритм сразу же может быть применён на практике.

Для анализа результатов моделирования системы используются общеизвестные методы прикладной статистики в контексте таких величин, как среднее время нахождения заявки в очереди, и индуктивных умозаключений на основе полученных данных.

Метод построения имитационной модели

Для проведения достоверного моделирования необходимо составить модель,

отвечающую определённым требованиям. Модель должна быть достоверна относительно структуры реальной системы, отображать все процессы, происходящие в системе и имеющие значимость для процесса моделирования, и должна давать возможность собирать интересующую статистику. Для достижения этих целей реализован следующий метод построения модели, который включает в себя ряд этапов.

Первый этап: построение схемы реальной системы. Для этого система разделяется на различные элементы (источники данных, потребители данных, транзитные этапы), каждому из которых определено некоторое время задержки. Это время может различаться для разных типов данных, или быть одинаковым. Также на этом этапе различные типы данных объединяются в группы приоритетов, обозначающих срочность обработки данных из каждой группы. Определяется количество возможных источников данных, соотношение количества данных различных групп приори-

тетов между собой [13].

Второй этап: определение временных интервалов. Для определения времени задержки использованы экспериментальные методы [14,15]. Полученные данные определяют время задержки при моделировании. При этом модельные времена для получения адекватных результатов моделирования должны соответствовать временам, полученным экспериментальным путём. Также на этом этапе определяется влияние размера сообщения на время его обработки.

Третий этап: составление модели [16]. На основе отдельных элементов из полученной схемы составляются их модельные реализации, отображающие их поведение в рамках имитационной модели. Отдельные модельные элементы затем объединяются в конечную имитационную модель в соответствии с ранее полученной схемой. Определяется, какие временные интервалы представляют особый интерес для анализа. Структурная схема полученной модели представлена на рисунке 2.

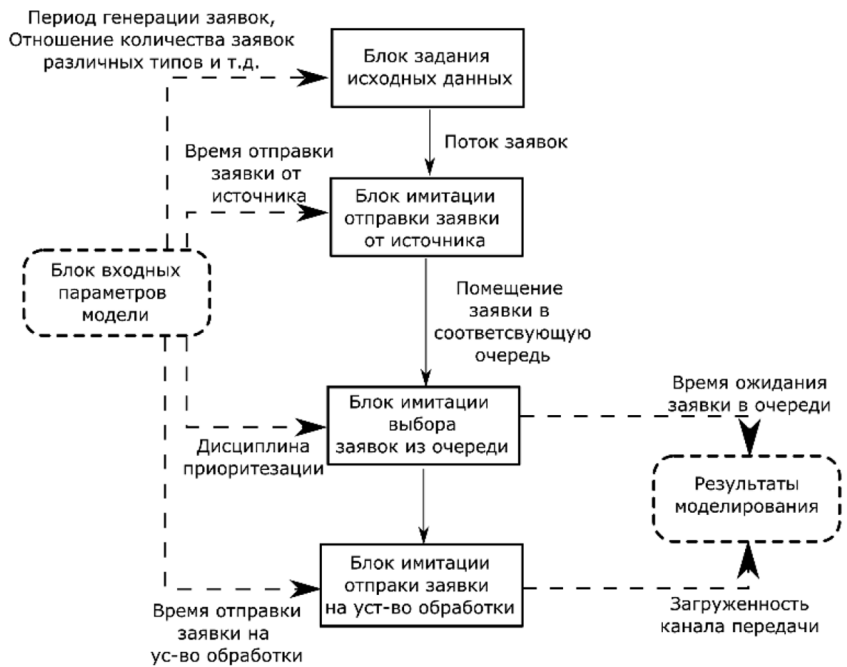


Рис. 2. Структурная схема имитационной модели.
Fig. 2. Structural diagram of the simulation model

Каждый блок представляет имитацию работы одного из элементов реальной системы. Сплошные стрелки обозначают направление потока заявок в процессе моделирования, а пунктирные — задание исходных данных или сбор информации в процессе моделирования. Различные алгоритмы приоритизации учтены в блоке имитации выбора заявок из очередей.

Четвёртый этап: определение моделируемой рабочей нагрузки. Определяется, какие параметры рабочей нагрузки будут изменяться в ходе разных испытаний, выделяется зависимость этих изменений. В соответствии с имеющимися данными о нагрузке системы, составляется набор значений рабочей нагрузки, на которых будет производиться конечное моделирование. При этом рекомендуется составить несколько вариантов рабочей нагрузки, которые будут описывать среднюю и высокую загруженность системы.

Модель реализована на языке GPSS [17].

Моделирование проводится для различных вариантов рабочей нагрузки с учетом алгоритмов приоритизации. Такой подход позволяет адекватно сравнивать различные алгоритмы на основании одинаковых исходных данных.

Проведение моделирования

Для демонстрации представленного метода, рассмотрим его применение к системе, схема которой была представлена ранее на рисунке 1.

Этап первый: представленная система имеет 4 источника данных, представленные удалёнными устройствами сбора данных, один транзитный узел (коммутатор), где образуются очереди данных, и устройство обработки данных, которое является их конечным потребителем. Каждый из данных

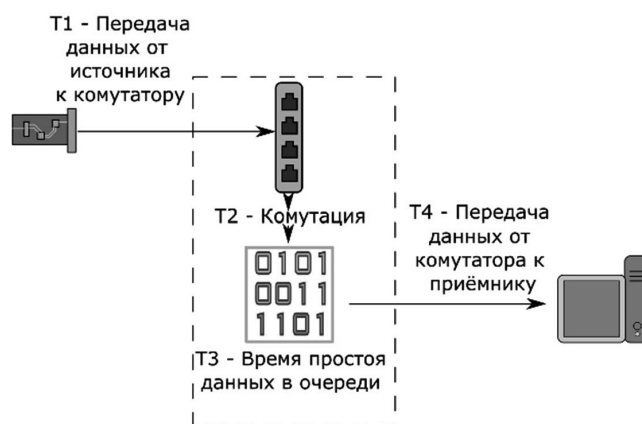


Рис. 3. Схема задержек заявок в системе.

Fig. 3. Scheme of request delays in the system

узлов вносит некоторую задержку проходящей через него заявке. Этими задержками являются [18]:

- Задержка передачи пакета от источника данных к коммутатору — Т1
- Задержка, вызванная простоем заявки в очереди на выход из коммутатора — Т2
- Задержка передачи пакета от коммутатора к устройству обработки данных — Т3

Схематично расположение представленных задержек показано на рисунке 3.

В системе обрабатываются 4 типа данных, которым можно дать следующие описания:

- Тип 4 — наиболее приоритетный тип данных. Объём одного сообщения прикладных данных этого типа достаточно велик, поэтому при поступлении этого типа данных генерируется сразу несколько заявок.
- Тип 3 — Обладает приоритетом ниже, чем тип 4, при поступлении в систему генерирует несколько заявок.
- Тип 2 — Обладает приоритетом ниже, чем тип 3, при поступлении в систему создаётся всего одна заявка
- Тип 1 — аналогичен типу 2, ниже его по приоритету.

При этом данные поступают в систему через два параллельных потока. Первым потоком является поток данных, который посылает данные Типа 4 раз в TgH единиц времени. Вторым потоком данных яв-

ляется поток вспомогательной информации. Посылка данных в нём случается раз в TgL , при этом каждая посылка имеет 20% шанс быть 1м типом данных, 20% быть 2м типом данных, и 60% принадлежать 3му типу данных.

Вторым этапом является определение временных интервалов. Интервалы Т1 и Т3 определены экспериментальным путём с помощью анализа тестового трафика (см. рисунок 3). Для проведения измерений использовался стенд, максимально приближенный к условиям, в которых будет функционировать система. Для анализа трафика использовался сниффер Wireshark, конечное значение измерений вычислялось как средняя круговая задержка (RTT) из 15 пакетов, отправленных утилитой Ping. Так как в данном случае время возвращение ответа не имеет прямого интереса, для значений Т1 и Т3 полученная величина делилась на 2. Также учитывалось, что пакеты различного размера требуют различное время для передачи [19, 20].

По итогам моделирования времена задержки Т1 и Т3 составили от 350 до 700 тактов модельного времени в зависимости от величины передаваемого пакета.

Время Т2 является одной из основных исследуемых метрик в данной модели. Данная

Таблица 1 (Table 1)

Используемые параметры рабочей нагрузки
Workload parameters used

Набор параметров	TgH	TgL	Время задержки T1 и T3				Число пакетов, порождаемых одним сообщением прикладного уровня	
			Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 3	Тип 4
1	22000	66000	350	350	400	700	2	4
2	22000	66000	350	350	400	700	3	7

величина определяется по результатам моделирования для каждого типа заявок в очереди отдельно.

На данном этапе составления модели также необходимо выбрать алгоритмы приоритизации, влияние которых подлежит исследованию. Было решено рассмотреть 3 типа алгоритмов [12]:

1. Алгоритм без использования приоритетов, который используется в качестве эталонного. В дальнейшем данная модель будет указываться в виде Модели 1.

2. Приоритетная очередь, в которой заявки обрабатываются строго по уровню приоритета от наивысшего к низшему. В дальнейшем данная модель будет указываться в виде Модели 2.

3. Weighted Round Robin – метод, при котором сначала извлекается некоторое количество заявок наивысшего приоритета (в данном случае 4), а затем по одной заявке остальных типов. Затем процесс повторяется. В дальнейшем данная модель будет указываться в виде Модели 3.

Четвёртый этап: составление рабочей нагрузки. В данном случае для большей показательности применимого метода используется 2 набора параметров для рабочей нагрузки. Первый представляет собой среднюю нагрузку на систему, второй – высокую нагрузку. Это позволяет на относительно малом объёме данных в достаточной мере продемонстрировать применение метода. В таблице 1 представлены используемые параметры.

Анализ результатов моделирования

По итогам моделирования наиболее интересными данными для рассмотрения являются среднее время пребывания каждого типа заявок в очереди. Данный параметр является

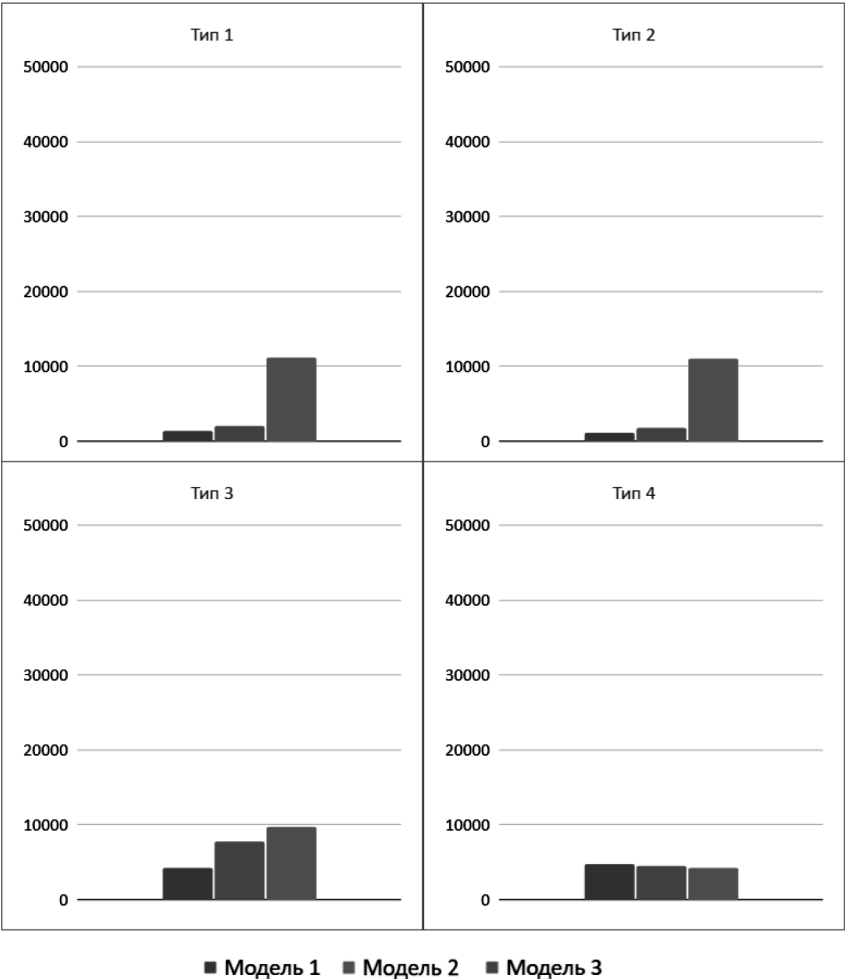


Рис. 4. Графики среднего времени ожидания заявки в очереди по типу и модели для первого набора параметров рабочей нагрузки.
Fig. 4. Graphs of the average waiting time of a request in the queue by type and model for the first set of workload parameters

основным для определения того, какой алгоритм приоритизации заявок является наиболее подходящим для данной системы, так как от него зависит общее время прохождения заявки через систему. Графики среднего времени нахождения заявок в очереди для первого набора параметров рабочей

нагрузки приведены на рисунке 4.
Для заданных параметров рабочей нагрузки малое среднее время ожидания заявок 1-го и 2-го типов в очереди для модели 1 и 3 связано с небольшим объемом передаваемых данных, а также с незначительной загруженностью

системы. Для модели 2 среднее время ожидания в очереди заявок 1-го и 2-го типа возрастает, что определяется низким уровнем приоритета. Количество заявок по типам, прошедшим через систему, показано на рисунке 5.

Рассмотрим аналогичные данные для высокой рабочей нагрузки. Соответствующий график среднего времени ожидания заявки в очереди представлен на рисунке 6.

Сразу же можно заметить существенные изменения в значениях среднего времени ожидания заявок в очереди. Из-за высокой нагрузки системы, заданной параметрами рабочей нагрузки, алгоритмы обработки приоритетов оказывают значительно большее влияние на время нахождения заявки в очереди.

Первая модель демонстрирует рост времени нахождения заявок в очереди из-за увеличившегося количества заявок в системе по сравнению с первым набором параметров рабочей нагрузки. Вторая модель уменьшает время нахождения в очереди для заявок 4го типа на 14% по сравнению с первой моделью, но при этом демонстрирует скачкообразное увеличение времени для всех остальных типов заявок не менее чем в 5 раз. Модель 3 позволяет уменьшить время простоя в очереди для заявок 4го типа на 7% по сравнению с первой моделью, но при этом значительно быстрее обрабатывает заявки остальных типов по сравнению с второй моделью.

На основании результатов моделирования можно прийти к следующим выводам. Если при разработке ВС стоит задача уменьшения времени обработки заявок 4го типа, использование метода приоритетной очереди является наилучшим. Однако, если для заявок типов 3, 2 и 1 существует ограничение по максимальному времени обработки, алгоритм модели 3 может оказаться бо-

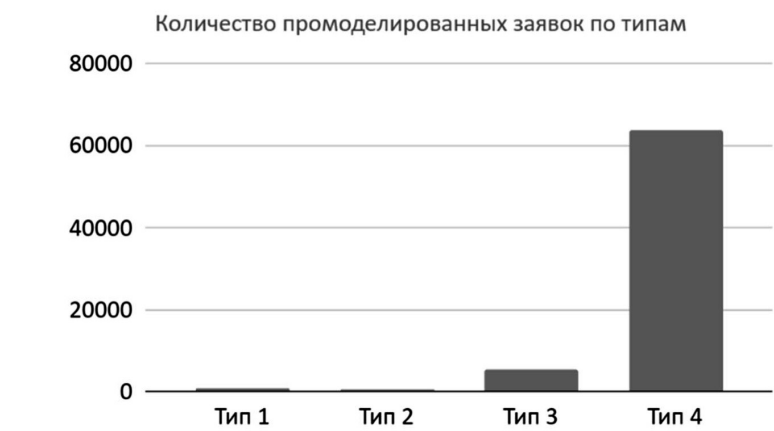


Рис. 5. Число заявок каждого типа, прошедших через систему при моделировании

Fig. 5. The number of requests of each type that passed through the system during the simulation

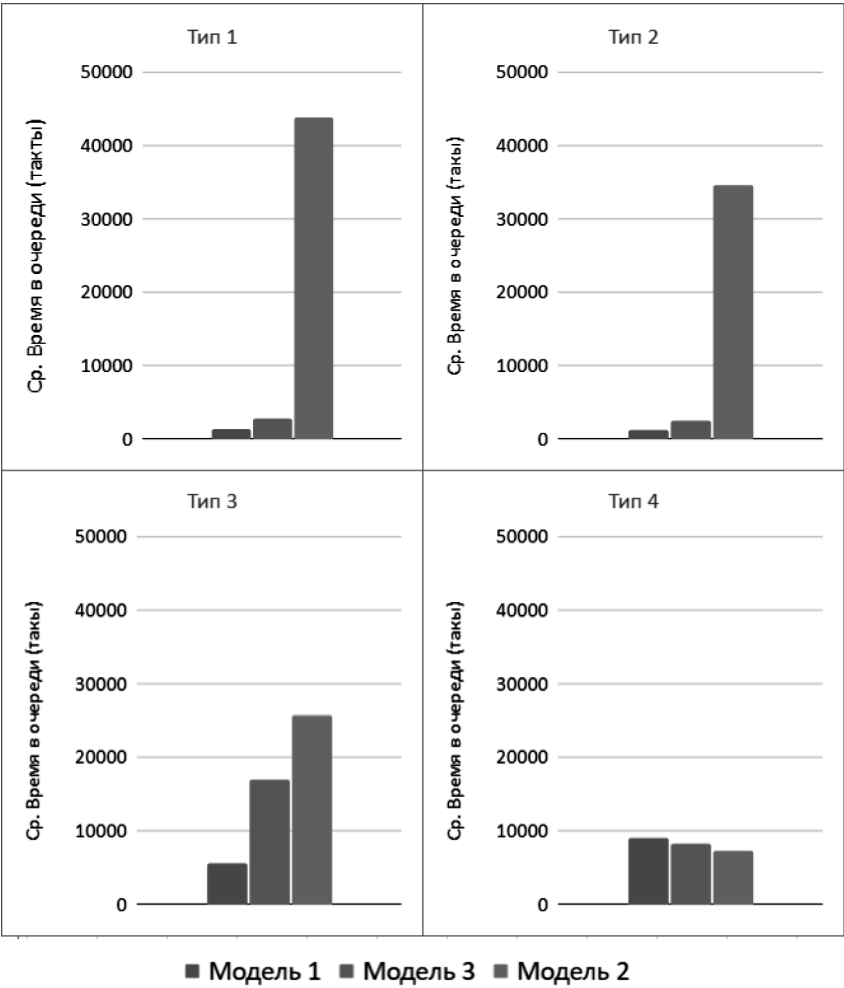


Рис. 6. Графики среднего времени ожидания заявки в очереди по типу и модели для второго набора параметров рабочей нагрузки.

Fig. 6. Graphs of the average waiting time of a request in the queue by type and model for the second set of workload parameters

лее предпочтительным, так как не слишком сильно уступает 2й модели по среднему времени нахождения заявок 4-го типа в очереди, но при этом значительно более выгоден в отношении остальных типов заявок.

Результаты анализа, полученные с использованием предложенного метода, нашли применение при проектировании распределённой вычислительной системы представленного класса с целью выбора алгоритмов приоритизации в зависимости от параметров рабочей нагрузки. Для точностной оценки результатов использовался регенеративный метод анализа модели [8, 9]. Для приведённых результатов погрешность составила не более 3%.

Заключение

В работе представлен метод построения имитационной модели для типовой распределённой вычислительной системы с использованием временных характеристик, полученных экспериментальным путем, позволяющий оценивать влияние алгоритмов приоритизации и параметров рабочей нагрузки на показатели производительности системы.

Предложенный метод создания имитационной модели с применением полученных экспериментальным путем временных характеристик системы, позволяет достичь детального описания процессов для рассматриваемого класса ВС, что несомненно может быть использовано при проектировании распределённых вычислительных систем. Такой подход позволяет проводить исследование влияния параметров рабочей нагрузки и структуры, включая алгоритмы приоритизации заявок, на показатели производительности системы.

Рассмотрены особенности построения имитационной

модели, детально описывающей функционирование ВС рассматриваемого класса во времени с учётом конфликтных ситуаций, возникающих при параллельной обработке информации, получения временных характеристики экспериментальным путём с целью повышения достоверности результатов.

Особое внимание при составлении модели было обращено на учёт параллельных процессов, протекающих в системе, и их влияние на производительность и нагруженность системы при использовании различных алгоритмов приоритизации. Данный подход особенно важен для моделирования систем, использующих для связи между узлами сеть Ethernet, при связи узлов в формате «многие-к-одному».

Исследование влияния алгоритмов приоритизации на время ожидания заявок в очередях в зависимости от параметров рабочей нагрузки проведено на основе статистического анализа полученных данных при использовании регенеративного метода анализа модели. Погрешность результатов моделирования составила не более 3%. Использование регенеративного метода анализа позволяет получить точностную оценку времени нахождения заявок в очереди в зависимости от алгоритмов приоритизации, что является важной характеристикой для рассматриваемого класса ВС.

Использование данного метода для оценки временных характеристик рассматриваемого класса ВС требует построения её полноценной модели, что

требует значительного времени и усилий. В то же время использование аналитических методов [1,3,4] позволяет дать первоначальную оценку предлагаемой системы в более короткий период. Но вместе с тем, аналитические методы в силу недостаточной детализации не дают возможность анализировать влияние алгоритмов приоритизации в зависимости от параметров рабочей нагрузки, для чего может быть использован предложенный метод.

Таким образом можно сказать, что использование предложенного метода целесообразно в том случае, когда общая архитектура системы уже выбрана, и необходима уже её дальнейшая оптимизация и поиск слабых мест, которые возникают в ходе её работы.

В дальнейшем модель может быть использована для исследования показателей производительности распределённых ВС в зависимости от числа узлов системы, временных характеристик работы ВС. Предложенный подход к построению моделей распределённых ВС может использоваться для моделирования ВС, использующей альтернативные алгоритмы приоритизации, стандарты связи и д.р.

Представленный метод использовался в ходе проектирования рассматриваемого класса ВС, что обосновывает его практическую значимость, а имитируемые в модели реальные алгоритмы приоритизации позволяют выбрать алгоритм, наилучшим образом отвечающий поставленным задачам проектирования специализированной ВС.

Литература

1. Павский В.А., Павский К.В. Математическая модель для расчета показателей надежности масштабируемых вычислительных систем с учетом времени переключения // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 2(212). С. 134–145. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-2-134-145.

2. Брехов О.М., Морару В.А. Аналитическое моделирование ЭВМ, управляемой потоком данных // Автоматика и телемеханика. 1993. № 12. С. 165–178.

3. Афанасьев А.П., Посыпкин М.А., Христанков А.С. Аналитическая модель оценки производительности распределённых систем //

Программные продукты и системы. 2009. № 4. С. 60–64.

4. Леонтьев А.С., Жматов Д.В. Исследование вероятностно-временных характеристик беспроводных сетей с методом доступа CSMA/CA // Russian Technological Journal. 2024. № 12(2). С. 67–76. DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-2-67-76.

5. Леонтьев А.С. Разработка аналитических методов, моделей и методик анализа локальных вычислительных сетей. Теоретические вопросы программного обеспечения: Межвузовский сборник научных трудов. М.: МИРЭА, 2001. С. 70–94.

6. Лёвина А.П. Обзор метода имитационного моделирования [Электрон. ресурс] // Современная техника и технологии. 2017. № 5. Режим доступа: <https://technology.snauka.ru/2017/05/13530> (Дата обращения: 17.12.2021).

7. Брехов О.М., Звонарева Г.А., Рябов В.В. Особенности разработки и анализа имитационной модели мультипроцессорной вычислительной системы // Открытое образование. 2017. № 3. С. 48–56.

8. Крейн М., Лемуан О. Введение в регенеративный метод анализа моделей. М.: Наука, 1982, 104 с.

9. Звонарёва Г.А., Бузунов Д.С. Использование имитационного моделирования для оценки временных характеристик распределённой вычислительной системы // Открытое образование. 2022. № 26(5). С. 32–39. DOI: 10.21686/1818-4243-2022-5-32-39.

10. Хоринг Ч. A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc894>.

11. Ничолс К, Блейк С. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers [Электрон. ресурс]. 1998. Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2474>.

12. Dordal L.P. An Introduction to Computer Networks. Chicago, Loyola University. 2020. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://intronetworks.cs.luc.edu/current/html/index.html>.

13. Бузунов Д.С., Звонарева Г.А. Моделирование специализированной вычислительной системы с параллельной обработкой информации // 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 2021. С.183–184.

14. Davies J. The Cable Guy TCP Receive Window Auto-Tuning, TechNet Magazine, 2007.

15. Бехтерев А. Качество сетей передачи данных. Программные и аппаратные измерения [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/250821/>.

16. Брехов О.М., Звонарева Г.А., Корнеева А.В. Имитационное моделирование. М.: МАИ, 2015. 324 с.

17. Шрайбер Т. Моделирование на GPSS. 1980. 592 с

18. Kling T., The impact of transport protocol, packet size, and connection type on the round trip time // Blekinge Institute of Technology. 2017.

19. Siemon D., Queueing in the Linux network stack // Linux Journal: Networking. 2013.

20. Ross K., Kurose J. «Delay and Loss in Packet-Switched Networks». 2012.

References

1. Pavskiy V.A., Pavskiy K.V. Mathematical model for calculating reliability indicators of scalable computing systems taking into account switching time. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki = Bulletin of SFedU. Technical sciences. 2020; 2(212): 134–145. DOI: 10.18522/2311-3103-2020-2-134-145. (In Russ.)

2. Brekhov O.M., Moraru V.A. Analytical modeling of a data flow-controlled computer. Avtomatika i telemekhanika = Automation and Telemechanics. 1993; 12: 165–178. (In Russ.)

3. Afanas'yev A.P., Posypkin M.A., Khritanov A.S. Analytical model for evaluating the performance of distributed systems. Programnyye produkty i sistemy = Software products and systems. 2009; 4: 60–64. (In Russ.)

4. Leont'yev A.S., Zhmatov D.V. Study of probabilistic and temporal characteristics of wireless networks with the CSMA/CA access method. Russian Technological Journal = Russian Technological Journal. 2024; 12(2): 67–76. DOI: 10.32362/2500-316X-2024-12-2-67-76. (In Russ.)

5. Leont'yev A.S. Development of analytical methods, models and techniques for analyzing local area networks. Teoreticheskiye voprosy programmnoy obespecheniya: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov = Theoretical issues of software: Interuniversity collection of scientific papers. Moscow: MIREA; 2001: 70–94. (In Russ.)

6. Lovina A.P. Review of the simulation modeling method [Internet]. Sovremennaya tekhnika i tekhnologii = Modern technology and technology. 2017; 5. Available from: <https://technology.snauka.ru/2017/05/13530> (cited 17.12.2021). (In Russ.)

7. Brekhov O.M., Zvonareva G.A., Ryabov V.V. Features of the development and analysis of a simulation model of a multiprocessor computing system. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2017; 3: 48–56. (In Russ.)

8. Kreyn M., Lemuan O. Vvedeniye v regenerativnyy metod analiza modeley = Introduction to the regenerative method of model analysis. Moscow: Science; 1982, 104 p. (In Russ.)

9. Zvonarova G.A., Buzunov D.S. Using simulation modeling to assess the temporal

characteristics of a distributed computing system. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2022; 26(5): 32-39. DOI: 10.21686/1818-4243-2022-5-32-39. (In Russ.)

10. Khorring CH. A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks = Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks [Internet]. Available from: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc894>. (In Russ.)

11. Nichols K, Bleyk S. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers [Internet]. 1998. Available from: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2474>.

12. Dordal L.P. An Introduction to Computer Networks. Chicago, Loyola University. 2020. [Internet]. Available from: <https://intronetworks.cs.luc.edu/current/html/index.html>.

13. Buzunov D.S., Zvonareva G.A. Modeling of a specialized computing system with parallel information processing. 20-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya «Aviatsiya i kosmonavtika»

=20th International Conference «Aviation and Cosmonautics». 2021:183-184. (In Russ.)

14. Davies J. The Cable Guy TCP Receive Window Auto-Tuning, TechNet Magazine; 2007.

15. Bekhterev A. Kachestvo setey peredachi dannykh. Programmnyye i apparatnyye izmereniya = Quality of data transmission networks. Software and hardware measurements [Internet]. Available from: <https://habr.com/ru/articles/250821/>. (In Russ.)

16. Brekhov O.M., Zvonareva G.A., Korneyenkova A.V. Imitatsionnoye modelirovaniye = Simulation modeling. Moscow: MAI; 2015. 324 p.

17. Shrayber T. Modelirovaniye na GPSS = Modeling on GPSS. 1980. 592 p. (In Russ.)

18. Kling T., The impact of transport protocol, packet size, and connection type on the round trip time. Blekinge Institute of Technology. 2017.

19. Siemon D., Queueing in the Linux network stack. Linux Journal: Networking. 2013.

20. Ross K., Kurose J. «Delay and Loss in Packet-Switched Networks». 2012.

Сведения об авторах

Галина Александровна Звонарёва

Доцент кафедры Вычислительные машины, системы и сети
Московский Авиационный Институт
(национальный исследовательский университет),
Москва, Россия
Эл. почта: zvonarevagal@yandex.ru

Денис Сергеевич Бузунов

Старший программист
ООО «Константа-Дизайн», Москва, Россия
Эл. почта: denis.buzunow@yandex.ru

Information about the authors

Galina A. Zvonareva

Associate Professor of the Department of Computing
Machines, Systems and Networks
Moscow Aviation Institute
(National Research University),
Moscow, Russia
E-mail: zvonarevagal@yandex.ru

Denis S. Buzunov

Senior Programmer
LTD «Constanta-Design», Moscow, Russia
E-mail: denis.buzunow@yandex.ru