

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра системного анализа и автоматического управления

**Модель массового обслуживания для сети передачи данных
с многопутевой маршрутизацией**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 271 группы

направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Шубина Альберта Дмитриевича

Научный руководитель:

к.ф.-м.н., доцент

_____ И.Е. Тананко

подпись, дата

Зав. кафедрой:

к.ф.-м.н., доцент

_____ И.Е. Тананко

подпись, дата

Саратов 2019

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Развитие современного общества влечет за собой все более широкое использование и распространение сложных систем с распределенным и параллельным принципом функционирования. Примером таких систем могут быть многопроцессорные системы, кластеры, распределенные базы данных, сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией. Анализ и изучение производительности, протекающих в системах подобного рода процессов, проводится с помощью математических моделей в виде сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований.

В сетях массового обслуживания с делением и слиянием требований поступающее требование делится в точке деления (fork-point) на некоторое число родственных фрагментов, которые затем распределяются по системам сети обслуживания. После завершения обслуживания всех фрагментов требования происходит их слияние в точке объединения (join-point) в исходное требование, которое считается обслуженным и покидает сеть обслуживания.

Предметом исследования в таких сетях обслуживания чаще всего становится время отклика – длительность интервала времени, прошедшего между делением требования на фрагменты и объединением его фрагментов. Также важной характеристикой является длительность интервала времени, в течение которого фрагменты некоторого требования ожидают объединения – задержка синхронизации.

Следует отметить, что кроме аналитических методов для анализа сложных систем используется также имитационное и компьютерное моделирование. При помощи имитационного моделирования систем и сетей массового обслуживания можно быстро и эффективно создать модель, провести анализ и проиграть множество вариантов событий, не затрачивая много времени и других средств.

Таким образом, задачи связанные с исследованием математических моделей систем с распределенным и параллельным принципом функционирования являются актуальными научными проблемами.

Цель:

Для сети передачи данных с технологией многопутевой маршрутизации необходимо построить математическую модель в виде сети массового обслуживания с делением и слиянием требований. В рассматриваемой модели будет учтена возможность перераспределения нагрузки, что будет выражено в изменении топологии сети массового обслуживания. Для сети обслуживания определяются ее параметры, указываются подходы для исследования модели.

В ходе выполнения данной работы необходимо выполнить следующие **задачи:**

- ознакомление с протоколом МРТСП;
- изучение основных результатов для сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований;
- разработка математической модели для сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией;
- программная реализация имитационной модели функционирования сети массового обслуживания с переменной структурой с делением и слиянием требований;
- проведение экспериментов, анализ результатов.

Методологические основы исследования сетей массового обслуживания для сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией представлены в работах И. Ю. Митрофанова [4], И.Е. Тананко [7], A. Thomasian [17], M. Fidler, B. Walker, Y. Jiang [29].

Теоретическая и/или практическая значимость магистерской работы. Теоретический материал, описанный в работе, способствует изучению математического аппарата сетей массового обслуживания для сети

передачи данных с многопутевой маршрутизацией и метода анализа таких сетей.

Практическая значимость заключается в возможности дальнейшего использования программного продукта (программы для анализа сетей массового обслуживания для сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией) для исследования свойств реальных стохастических систем с сетевой структурой при их проектировании или оптимизации.

Структура и объём работы. Магистерская работа состоит из введения, 5 разделов, заключения, списка использованных источников и 3 приложений. Общий объём работы – 79 страниц, из них 58 страниц – основное содержание, включая 16 рисунков и 1 таблицу, список использованных источников информации – 44 наименования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первый раздел «Основные теоретические сведения» посвящен описанию понятия и видов систем массового обслуживания с делением и слиянием требований. Раздел содержит два подраздела.

Подраздел *«Понятие систем массового обслуживания»* включает в себя описание объектов и правил работы систем массового обслуживания.

Система массового обслуживания (СМО) определяется потоком требований и алгоритмом их обслуживания.

Подраздел *«Виды систем массового обслуживания»* включает в себя описание видов систем массового обслуживания, основных характеристик для исследования систем массового обслуживания.

Второй раздел «Сети массового обслуживания с делением и слиянием требований» посвящен описанию типов сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований. Раздел содержит два подраздела.

Подраздел *«Типы сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований»* описывает следующие типы СеМО с делением и слиянием требований: модель центрального деления, модель

распределенного деления с синхронизирующей очередью, модель центрального деления без синхронизирующей очереди.

Подраздел *«Анализ сетей с распределенным делением и синхронизирующей очередью»* описывает основные методы анализа сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований.

Третий раздел «Обзор протокола МРТСПР» посвящен описанию работы протокола ТСПР, управлением трафиком в нем, управлением очередями, распределением нагрузки. Раздел содержит шесть подразделов.

Подраздел *«Управление трафиком и борьба с перегрузками в протоколе ТСПР»* посвящен описанию одной из ключевых функций транспортного протокола – борьбе с перегрузками.

Подраздел *«Протоколы управления очередью в маршрутизаторах»* посвящен описанию предотвращения перегрузок в маршрутизаторах.

Подраздел *«Качество обслуживания»* посвящен описанию гарантий производительности, способов решений для предоставления высокого качества обслуживания.

Подраздел *«Сброс нагрузки»* посвящен описанию процесса игнорирования маршрутизаторами пакетов, которые они не могут обработать.

Подраздел *«Случайное раннее обнаружение»* посвящен описанию работы алгоритмов борьбы с перегрузками.

Подраздел *«Протокол МРТСПР»* посвящен описанию работы, способов реализации многопутевого протокола для транспортного уровня Multipath ТСПР.

Четвертый раздел «Математическая модель сети с многопутевой маршрутизацией» посвящен описанию математической модели сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией. Раздел содержит один подраздел.

В качестве математической модели сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией предлагается использовать сети массового

обслуживания [1] с делением и слиянием требований, которые являются математическими моделями дискретных стохастических систем с сетевой структурой и стохастическим характером функционирования [2, 5].

Сеть обслуживания состоит из параллельных одноприборных систем массового обслуживания. Предполагается, что в сеть поступает пуассоновский поток требований с интенсивностью λ , каждое требование состоит (делится) из случайного числа фрагментов, которое задано распределением вероятностей $\{p_k\}$, где p_k задает вероятность деления на k фрагментов.

Подраздел «Уравнения состояний сети массового обслуживания» посвящен описанию основных состояний сети массового обслуживания.

Состояние сети обслуживания определим как вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, где x_i — определяет число фрагментов в глобальной очереди сети массового обслуживания; i — есть номер системы массового обслуживания, в которую должна быть осуществлена попытка следующего поступления; в том случае, когда все системы находятся в состоянии блокировки — $x_i = 0$; N — задает число фрагментов в локальных очередях; $x_i = 1$ — есть состояние доступности локальных очередей, где $x_i = 0$ отражает состояние «заблокирована для поступления», $x_i = 1$ — «не заблокирована для поступления»,

Процесс $X(t)$ есть цепь Маркова с непрерывным временем и пространством состояний X ,

$1, \dots, N$.

Обозначим через λ_{ij} интенсивность перехода цепи из состояния i в состояние j . Для интенсивностей перехода будут верны следующие выражения, соответствующие событиям поступления, завершения обслуживания, снятия блокировки:

ПОСТУПЛЕНИЕ ФРАГМЕНТОВ

1) если для всех i справедливо

2) если $\frac{1}{2} \leq \alpha < 1$, то

где i определяет номер системы, в которую будет произведена попытка следующего поступления фрагмента в соответствии с дисциплиной RoundRobin.

3) если

где $\mathbf{S}$ – вектор длин фрагментов, задаёт состояние доступности систем сети обслуживания после поступления последнего фрагмента требования.

ЗАВЕРШЕНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ФРАГМЕНТА В СИСТЕМЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ

4) если $\frac{1}{2} \leq \frac{1}{n} \leq \frac{1}{2} + \frac{1}{n}$, то

5) если $\frac{1}{2} \leq \frac{1}{2} \leq \frac{1}{2}$, то

СНЯТИЕ БЛОКИРОВКИ С СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ

6) если $\frac{1}{2} \leq \frac{1}{2} \leq \frac{1}{2}$, то

7) если $\frac{1}{2} \leq \frac{1}{2} \leq \frac{1}{2}$, то

здесь , определяет то состояние доступности, которое будет достигнуто после поступления фрагментов из глобальной очереди:

Определим макросостояние цепи Маркова с номером как множество

Стационарное распределение вероятностей состояний цепи Маркова может быть найдено как решение уравнений равновесия [5],

где – инфинитезимальный оператор цепи Маркова, который определяется исходя из выражений для интенсивностей перехода, представленных выше.

Из анализа уравнений равновесия следует, что для рассматриваемой цепи Маркова переход из состояния возможен только в состояния из множеств . Таким образом, стационарное распределение может быть получено также с использованием матрично-аналитических методов.

Пятый раздел «Описание комплекса программ имитационного моделирования и численного анализа сетей массового обслуживания с делением и слиянием требований» содержит описание разработанного комплекса, аспекты практического использования. Раздел содержит три подраздела.

Подраздел *«Структура имитационной модели сетей массового обслуживания»* посвящен описанию методик имитационного моделирования, основных классов элементов сетей массового обслуживания, с помощью которых можно конструировать модели различного вида, общий алгоритм имитационного моделирования.

Дискретно-событийное имитационное моделирование выполняется путем генерации событий на временной оси и последовательным сдвигом

таймера модельного времени по событиям на этой оси. В зависимости от того, к какому событию произошел переход, выполняются соответствующие действия:

1. Поступление требования в систему – маршрутизатор определяет систему, на которую должно поступить требование. Если обслуживающий прибор может ее обработать, то на временной оси в будущем генерируется событие завершения обслуживания, иначе – требование помещается в буфер.

2. Завершение обслуживания – маршрутизатор определяет, должна ли заявка покинуть сеть. Далее обслуживающий прибор извлекает очередное требование и ставит его на обслуживание.

3. Снятие блокировки – так как буферы на приборах СМО имеют ограниченную вместимость, то при их заполнении прибор на некоторое время переходит в состояние блокировки и маршрутизатор в течение этого времени не предпринимает попыток отправить поступающие в СеМО требования на обслуживание в эту СМО. После того как в буфере освобождается место, блокировка снимается и СМО снова принимает требования.

Завершение моделирования – имитационная модель прекращает все вычисления.

В подразделе «*Описание разработанного комплекса*» рассматривается программный продукт моделирования процессов массового обслуживания.

Разработанный комплекс проблемно-ориентированных программ и алгоритмов моделирования процессов массового обслуживания состоит из программы имитационного моделирования сетей обслуживания, а также алгоритмов для численных расчетов вероятностных характеристик функционирования систем и сетей обслуживания на основе полученных в работе результатов.

Имитационная модель содержит так же основную программу, основное назначение которой – синхронизация и управление программными процессами.

В подразделе «Аспекты практического использования комплекса» приводятся основные результаты моделирования.

Рассматривается сеть массового обслуживания с параметрами:

- интенсивность обслуживания
- интенсивность повторного обращения
- число систем обслуживания ;
- вектор распределения числа фрагментов ;
- вместимость локальных очередей

Для данной сети были вычислены оценки для:

м.о. длительности пребывания требований в сети обслуживания, м.о. числа фрагментов в глобальной очереди, м.о. числа фрагментов в локальных очередях. Интенсивность входящего потока изменялась в диапазоне от

График зависимости оценки м.о. длительности пребывания требований в сети обслуживания от интенсивности входящего потока приведен на рисунке № 15.

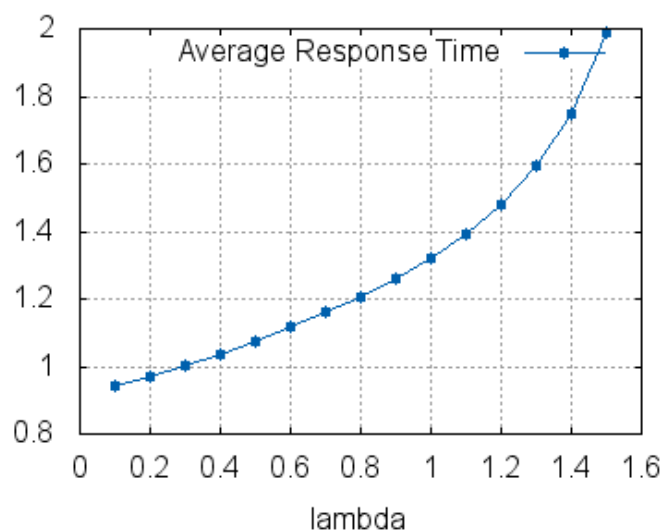


Рисунок 1 - График зависимости оценки м.о. длительности пребывания требований в сети обслуживания от интенсивности входящего потока

На рисунке № 16 представлена зависимость оценки математического ожидания длительности пребывания требований в сети обслуживания от интенсивности повторных обращений.

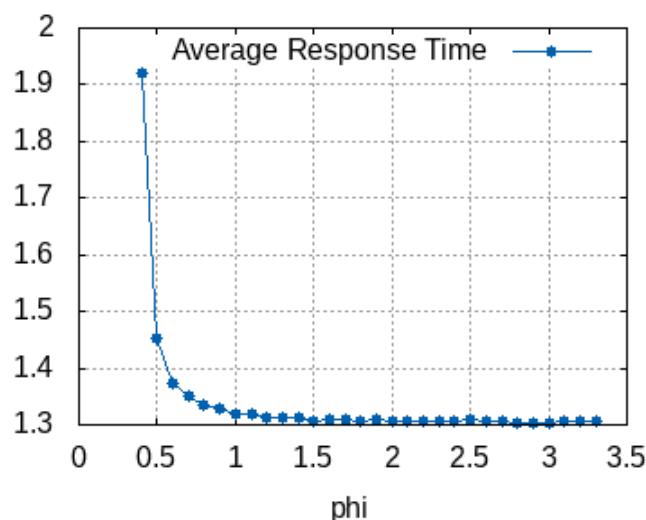


Рисунок 2 - График зависимости оценки математического ожидания длительности пребывания требований в сети обслуживания от интенсивности повторных обращений.

Из графика видно что существенные изменения для м.о. длительности пребывания требования в сети обслуживания имеют место только когда интенсивность повторных обращений < 1.5 . Данное наблюдение может быть полезным в том случае, когда каждое повторное обращение имеет некоторую стоимость (требование к вычислительным ресурсам, возникающие задержки и т. д.). Таким образом, оптимальным значением для может стать ≈ 1.5 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были рассмотрены основные подходы к организации сетей на базе протоколов многопутевой маршрутизации, а именно МРТСР. Был описан сам протокол, его основные особенности. Для сети передачи данных с многопутевой маршрутизацией была разработана математическая модель в виде сети массового обслуживания с делением и слиянием требований.

Предложенная модель позволяет также учитывать возникающие в сети перегрузки и отказы в обслуживании.

Была построена имитационная модель сети массового обслуживания с переменной структурой, состоящая из M одноприборных систем обслуживания типа , с использованием которой можно получать оценки для стационарных характеристик. Результаты работы имитационной модели можно использовать для задач исследования оптимизации и синтеза реальных информационных систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Митрофанов Ю. И. Анализ сетей массового обслуживания: Учеб.пособие. — Саратов; Изд-во «Научная книга»,2005. — 175;
2. Тананко И.Е. Моделирование систем: Учебное пособие. – Саратов: Изд-во «Научная книга», 2007. - 116с.
3. Кофман А. Массовое обслуживание. Теория и приложения / Пер. сфран. М.: Мир, 1965. — 303 с.
4. Вишневский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. / В.М. Вишневский. М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
5. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок ; Пер. И.И. Грушко. М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
6. RFC 793 TRANSMISSIONCONTROLPROTOCOL [Электронный ресурс] // <https://tools.ietf.org/html/rfc793> (Дата обращения: 04.11.2018)
7. RFC 6824 TCP Extensions for Multipath Operation with Multiple Addresses [Электронный ресурс] // <https://tools.ietf.org/html/rfc6824> (Дата обращения: 04.11.2018)
8. Thomasian A. Analysis of Fork/Join and Related Queueing Systems // ACM Computing Surveys. – New York, 2014. – Vol. 47, № 2. – 17:1–17:71.
9. Fidler M., Walker B., Jiang Y. Non-Asymptotic Delay Bounds for MultiServer Systems with Synchronization Constraints // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. – 2018. – Vol. 29, № 7. – P. 1545–1559.