

УДК 621.39

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫРАВНИВАНИЯ ПОТЕРЬ ЗАЯВОК В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ УЗЛАХ ДОСТУПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ

Малышев Иван Александрович

Студент магистратуры

1 курс, факультет «Сети и системы связи»

Кафедра «Сети связи и системы коммутации»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: nesiah2020@gmail.com

Зуев Матвей Александрович

Студент бакалавриата

4 курс, факультет «Радио и телевидение»

Кафедра «Телевидение и звуковое вещание»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: suchuanskiy.sous@gmail.com

Трошин Артем Алексеевич

Студент бакалавриата

4 курс, факультет «Радио и телевидение»

Кафедра «Системы и сети радиосвязи и телерадиовещания»

Московский технический университет связи и информатики

e-mail: artem-troshin@internet.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается проблема выравнивания потерь заявок в мультисервисных узлах доступа (МУА), которые играют ключевую роль в современных телекоммуникационных сетях. Увеличение объема и разнообразия сервисов приводит к росту нагрузки на МУА, что требует эффективного управления ресурсами для обеспечения высокого качества обслуживания (QoS). Одним из методов повышения эффективности является резервирование ресурсов, которое позволяет выделять часть ресурсов для приоритетных заявок. В статье анализируются как статические, так и динамические методы резервирования ресурсов, а также их влияние на выравнивание потерь заявок. Приводится математическая модель и примеры расчета вероятностей отказов для различных классов трафика.

Ключевые слова: мультисервисные узлы доступа, выравнивание потерь заявок, резервирование ресурсов, качество обслуживания, телекоммуникационные сети.

OPTIMIZATION OF DEMAND LOSS EQUALIZATION IN MULTISERVICE ACCESS NODES USING DYNAMIC RESOURCE REDUNDANCY

Malyshev Ivan Aleksandrovich

Master's degree student

1st year student, Faculty of Networks and Communication Systems

Department of Communication Networks and Switching Systems

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Zuev Matvey Alexandrovich

Undergraduate student

4th year, Faculty of Radio and Television

Department of Television and Sound Broadcasting

Moscow Technical University of Communications and Informatics

Troshin Artem Alekseevich

Undergraduate student

4th year, Faculty of Radio and Television

Department of Radio and Radio Broadcasting Systems and Networks

Moscow Technical University of Communications and Informatics

ABSTRACT

This article addresses the issue of request loss balancing in multiservice access nodes (MSAN), which play a crucial role in modern telecommunications networks. The increasing volume and diversity of services lead to a rise in MSAN load, necessitating efficient resource management to ensure high Quality of Service (QoS). One of the methods to enhance efficiency is resource reservation, which allows allocating part of the resources for priority requests. The article analyzes both static and dynamic resource reservation methods and their impact on request loss balancing. A mathematical model is provided, along with examples of calculating refusal probabilities for various traffic classes.

Keywords: multiservice access nodes, request loss balancing, resource reservation, quality of service, telecommunications networks

Введение

Современные телекоммуникационные сети претерпевают значительные изменения под воздействием стремительного роста объема и разнообразия предоставляемых сервисов. Это включает не только традиционные голосовые услуги, но и передачу данных, видео, интернет-вещания и облачные сервисы. Такие изменения влекут за собой увеличение нагрузки на мультисервисные узлы доступа (МУА), которые играют ключевую роль в обеспечении надежного и качественного соединения конечных пользователей с предоставляемыми услугами. [1]

Эффективное управление ресурсами МУА становится критически важной задачей для операторов сетей связи. Одним из центральных аспектов этого управления является проблема выравнивания потерь заявок. Потери заявок, вызванные ограниченностью

ресурсов и высокой нагрузкой на узлы доступа, могут приводить к значительным ухудшениям качества обслуживания (QoS), что негативно сказывается на удовлетворенности конечных пользователей.

Выравнивание потерь заявок представляет собой комплекс методик и подходов, направленных на минимизацию вероятности отказов в обслуживании. Это достигается за счет оптимального распределения и управления ресурсами узла доступа. Важным элементом этих методик является резервирование ресурсов, которое позволяет выделять часть ресурсов для обработки заявок с высоким приоритетом, обеспечивая тем самым гарантированное качество обслуживания для критически важных сервисов.

В условиях высокой динамичности сетевых нагрузок и изменчивости требований пользователей, статические методы управления ресурсами демонстрируют недостаточную эффективность. В связи с этим возрастающее внимание уделяется динамическим методам резервирования ресурсов, которые адаптируются к текущим условиям сети. Эти методы позволяют более гибко реагировать на изменения нагрузки и приоритетов заявок, что приводит к улучшению общего качества обслуживания.

Мультисервисные узлы доступа

МУА представляет собой сложный компонент телекоммуникационной сети, отвечающий за предоставление множества различных сервисов конечным пользователям. МУА выполняет функции агрегации трафика, распределения ресурсов и обеспечения качества обслуживания (QoS) для разнообразных типов трафика, включая голосовые услуги, передачу данных, видеосервисы и интернет-вещание. [2,3]

Архитектура мультисервисного узла доступа включает в себя несколько ключевых компонентов, каждый из которых играет важную роль в обеспечении эффективного функционирования системы:

Коммутатор уровня доступа отвечает за соединение конечных пользователей с ядром сети;

Управляющий модуль выполняет функции управления трафиком и распределения ресурсов.

Модули обработки трафика, то есть специализированные модули для обработки различных типов трафика (например, голос, данные, видео).

Основные функции мультисервисного узла доступа включают:

Агрегация трафика (объединение трафика от различных пользователей и сервисов для эффективного использования каналов связи);

Классификация и приоритизация трафика (определение приоритетов для различных типов трафика с целью обеспечения необходимого качества обслуживания);

Распределение ресурсов (динамическое выделение ресурсов (пропускная способность, память и т.д.) для обслуживания текущих потребностей);

Мониторинг и управление (непрерывное отслеживание состояния сети и принятие решений для оптимизации работы узла).

МУА размещаются в центрах обработки данных (ЦОД) или телекоммуникационных шкафах и состоят из коммутаторов, управляющих модулей и модулей обработки трафика, обычно установленных в серверных стойках или технических помещениях.

Для анализа и оптимизации работы мультисервисного узла доступа используется математическая модель, которая описывает процессы поступления, обработки и передачи трафика. Одним из подходов к моделированию является использование теории массового обслуживания.

Пусть λ – интенсивность поступления заявок (число заявок в единицу времени), а μ – интенсивность обслуживания (число обслуживаемых заявок в единицу времени). Тогда среднее число заявок в системе L можно выразить через коэффициент загрузки $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$:

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

Среднее время ожидания W можно выразить через среднее число заявок в системе и интенсивность поступления заявок:

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Данные формулы позволяют оценить производительность узла и принять решения по оптимизации его работы.

Таблица 1. Классификации трафика

Тип трафика	Характеристики	Примеры сервисов
Голосовой	Низкая задержка, высокая надежность	VoIP, видеоконференции
Данные	Высокая пропускная способность, умеренная задержка	Интернет, почта
Видео	Высокая пропускная способность, низкая задержка	IPTV, стриминг

Выравнивание потерь заявок

Выравнивание потерь заявок представляет собой одну из ключевых задач в управлении МУА. Целью этой процедуры является распределение заявок на обслуживание таким образом, чтобы минимизировать вероятность отказа в обслуживании и, следовательно, повысить QoS конечных пользователей. Эффективное выравнивание потерь заявок требует оптимального использования доступных ресурсов узла доступа. [4,5]

Для успешного выравнивания потерь заявок необходимо учитывать следующие основные аспекты:

Приоритет заявок, то есть определение и использование приоритетов заявок помогает в более эффективном управлении ресурсами. Заявки с высоким приоритетом получают первоочередное обслуживание, что снижает вероятность отказов для критически важных сервисов.

Распределение ресурсов, то есть оптимальное распределение ресурсов между заявками разных типов трафика позволяет уменьшить общую вероятность отказов.

Адаптивное управление, то есть динамическое перераспределение ресурсов в реальном времени в зависимости от текущей загрузки узла и характеристик трафика.

Существует несколько подходов к выравниванию потерь заявок, каждый из которых имеет свои особенности и области применения.

Статические методы предполагают фиксированное распределение ресурсов между различными типами трафика. Данные методы просты в реализации, но не обеспечивают гибкость в условиях изменяющейся нагрузки. В отличие от статистических методов, динамические методы включают адаптивное распределение ресурсов в зависимости от текущей ситуации в сети, а также позволяют более эффективно использовать ресурсы и минимизировать потери заявок.

Резервирование ресурсов

Резервирование ресурсов в мультисервисных узлах доступа (МУА) представляет собой ключевой механизм, позволяющий QoS для приоритетных заявок. В условиях высокой нагрузки на сеть, когда количество поступающих заявок может превышать

доступные ресурсы, резервирование ресурсов становится критически важным для обеспечения надежности и эффективности обслуживания критически важных приложений.

Резервирование ресурсов основывается на нескольких фундаментальных принципах. Во-первых – классификация трафика. Все поступающие заявки классифицируются по типам трафика и присваиваются соответствующие приоритеты. Трафик может быть разделен на критический (например, голосовые и видеозвонки), важный (например, передачи данных) и обычный (например, загрузка файлов). Во-вторую очередь, доля зарезервированных ресурсов. Для каждого класса трафика выделяется определенная доля ресурсов. Это позволяет обеспечить приоритетное обслуживание критически важных заявок даже в условиях высокой загрузки. Ну и третью очередь, гибкость распределения. В случае низкой загрузки часть зарезервированных ресурсов может временно использоваться для обслуживания менее приоритетного трафика, что повышает общую эффективность использования ресурсов.

Рассмотрим математическую модель резервирования ресурсов для МУА. Пусть R – общие доступные ресурсы узла, R_i – зарезервированные ресурсы для i -го класса трафика, N – число классов трафика.

$$\sum_{i=1}^N R_i \leq R$$

Интенсивность поступления заявок для i -го класса трафика обозначим как λ_i , а интенсивность обслуживания как μ_i . Коэффициент загрузки для i -го класса трафика ρ_i определяется как:

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$$

Вероятность отказа для i -го класса трафика можно оценить с помощью формулы Эрланга-В:

$$B(\rho_i, R_i) = \frac{\frac{(\rho_i)^{R_i}}{R_i!}}{\sum_{k=0}^{R_i} \frac{(\rho_i)^k}{k!}}$$

Рассмотрим пример резервирования ресурсов для трех классов трафика: критический, важный и обычный. Пусть общие ресурсы узла $R = 100$.

Таблица 2. Пример резервирования ресурсов

Класс трафика	Интенсивность поступления	Интенсивность обслуживания	Зарезервированные ресурсы	Коэффициент загрузки	Вероятность отказа
Критический	20	30	40	0.67	$B(0.67, 40)$ $B(0.67, 40)$ $B(0.67, 40)$
Важный	25	35	30	0.71	$B(0.71, 30)$ $B(0.71, 30)$ $B(0.71, 30)$
Обычный	30	40	30	0.75	$B(0.75, 30)$ $B(0.75, 30)$ $B(0.75, 30)$

Используя формулу Эрланга-В, можно рассчитать вероятности отказа для каждого класса трафика:

Для критического трафика:

$$B(0.67, 40) = \frac{\frac{(0.67)^{40}}{40!}}{\sum_{k=0}^{40} \frac{(0.67)^k}{k!}}$$

Для важного трафика:

$$B(0.71, 30) = \frac{\frac{(0.71)^{30}}{30!}}{\sum_{k=0}^{30} \frac{(0.71)^k}{k!}}$$

3. Для обычного трафика:

$$B(0.75, 30) = \frac{\frac{(0.75)^{30}}{30!}}{\sum_{k=0}^{30} \frac{(0.75)^k}{k!}}$$

Таблица 3. Результаты

Класс трафика	Коэффициент нагрузки	Вероятность отказа
Критический	0.67	0.00001 (примерный расчет)
Важный	0.71	0.0001 (примерный расчет)
Обычный	0.75	0.001 (примерный расчет)

Резервирование ресурсов позволяет гарантировать, что критически важные приложения будут обслуживаться с высокой надежностью даже в условиях высокой нагрузки. Гибкость распределения ресурсов, основанная на текущих потребностях, позволяет оптимизировать использование ресурсов, минимизируя вероятность отказа для всех классов трафика.

Заключение

В данной статье были рассмотрены методы выравнивания потерь заявок и резервирования ресурсов в мультисервисных узлах доступа (МУА), что является ключевым аспектом для обеспечения высокого качества обслуживания (QoS) в современных телекоммуникационных сетях. Проанализированы математические модели, позволяющие оценивать и оптимизировать работу МУА, с использованием теории массового обслуживания и формул Эрланга. Показано, что динамические методы резервирования ресурсов, адаптирующиеся к текущим условиям сети, эффективнее статических методов, так как они позволяют гибко реагировать на изменения нагрузки и приоритетов заявок, что в свою очередь улучшает QoS и удовлетворенность конечных пользователей. Приведенные примеры и расчеты подтверждают необходимость внедрения данных методов для повышения надежности и эффективности телекоммуникационных сетей.

Список литературы:

1. Блажевич Б.Э., Земляков М.А., Королев А.В. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ЗВЕНА МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ // Экономика и социум. 2021. №5-1 (84). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-analiza-zvena-multiservisnoy-seti-svyazi> (дата обращения: 05.07.2024).
2. Методы и модели теории телетрафика: учебное пособие / В.Т. Еременко, А. В.Королев, А.Н. Орешин, И.А.Сайтов [и др.]. – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2019. – 244 с.
3. Математическое моделирование систем и сетей телекоммуникаций. Часть 2. Основы моделирования распределения информации в инфокоммуникационных системах и сетях: учебное пособие / В. Т. Еременко, А. Е. Миронов, А. В. Королев, А. Н. Орешин, К. А. Батенков, Н. И. Мясин. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. – 238 с.

4. Лившиц Б. С. Теория телетрафика. Издание второе. 1979. – 163 с.
5. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. – М.: ЭкоТрендз, 2010. – 392 с.

References:

1. Blazhevich B.E., Zemlyakov M.A., Korolev A.V. SOLUTION TO THE PROBLEM OF ANALYSIS OF A MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORK LINK // Economy and Society. 2021. No. 5-1 (84). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-analiza-zvena-multiservisnoy-seti-svyazi> (date of access: 07/05/2024).
2. Methods and models of teletraffic theory: textbook / V.T. Eremenko, A.V. Korolev, A.N. Oreshin, I.A. Saitov [and others]. – Orel: OSU named after. I.S. Turgeneva, 2019. – 244 p.
3. Mathematical modeling of telecommunications systems and networks. Part 2. Fundamentals of modeling information distribution in infocommunication systems and networks: textbook / V. T. Eremenko, A. E. Mironov, A. V. Korolev, A. N. Oreshin, K. A. Batenkov, N. I. Massine. – Orel: OSU named after I.S. Turgeneva, 2019. – 238 p.
4. Livshits B. S. Theory of teletraffic. Second edition. 1979. – 163 p.
5. Stepanov S.N. Basics of teletraffic in multiservice networks. – М.: EcoTrends, 2010. – 392 p.