

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра компьютерной физики и метаматериалов  
на базе Саратовского филиала Института радиотехники  
и электроники им. В. А. Котельникова РАН

**ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАРШРУТИЗАЦИИ  
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЕЙ  
ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С НЕОДНОРОДНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Гоголя Сергея Олеговича  
студента 2 курса, 2225 группы  
направления подготовки 03.04.02 Физика  
Института физики

Научный руководитель  
к.ф.-м.н. доцент

О.А. Черкасова

Заведующий кафедрой  
компьютерной физики и метаматериалов  
на базе Саратовского филиала Института радиотехники  
и электроники им. В. А. Котельникова РАН  
д.ф.-м.н. профессор

В.М. Аникин

Саратов 2021 г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** все существующие протоколы маршрутизации выбирают кратчайший путь для передачи трафика основываясь на своей метрике. Выбор пути может быть более рационален если при анализе всех путей учитывать их пропускную способность или задержки, которые имеет тот или иной путь.

Технология MPLS дает возможность реализовать многопутевую маршрутизацию, это дает ряд преимуществ над стандартными протоколами маршрутизации. В их число входит решение задачи максимального использования каналов, QoS и повышение отказоустойчивости.

Распространение технологии MPLS дало возможность разработать технологию с универсальной коммутацией на основе меток. Название новой технологии GMPLS, данная технология унифицирует и расширяет функционал MPLS для любых транспортных технологий канального или физического уровней. Толчок GMPLS дало также появление технологии DWDM. GMPLS предназначена для маршрутизации в сети OBS. Данная сеть также называется сетью с оптической коммутацией блоков. В сети с оптической коммутацией блоков административный сигнал преобразуется на каждом узле в электронный, а блоки данных не подвергаются преобразованию оптический/электронный/оптический. В технологии GMPLS роль меток выполняют лампы DWDM линии. Из выше написанного следует что сеть OBS это сеть с коммутацией каналов, для данного типа коммутации не существует алгоритма эффективной маршрутизации. Чтобы решить данную проблему нужно разработать модель алгоритма динамической маршрутизации для сети OBS, данный алгоритм будет содержать в себе алгоритм поиска оптимального пути. Также алгоритм должен ограничить количество параллельных маршрутов в один момент времени.

Данная работа содержит в себе модель алгоритма динамической маршрутизации для сетей OBS, которая использует технологию GMPLS, также включает в себя имитационную модель сети OBS. Модель основана на алгоритме потери пакетов для чего накладывается ограничение на максимальное параллельное число путей.

**Цель данной работы:** разработка модели алгоритма динамической маршрутизации для сетей OBS. Данный алгоритм должен быть эффективным что значит, что он должен уменьшить вероятность потери пакетов, увеличить емкость сети, увеличить отказоустойчивость сети.

### **Решаемые задачи:**

- 1) Анализ существующих алгоритмов маршрутизации в сетях передачи информации.
- 2) Разработка модели алгоритма маршрутизации для GMPLS с OBS, модель должна быть реализуема как при централизованном расчете маршру-

тов, т.е. на выделенном вычислителе, так и децентрализованном расчете маршрутов. Также алгоритм должен обладать резервированием.

3) Разработка имитационной модели сети GMPLS используя симулятор NS3.

4) Разработка модули к NS3 на языке C++.

5) Проведение испытания модели и оценить эффективность

***Научно-техническая новизна:***

- разработан новый оптимизационный алгоритм, позволяющий при поиске оптимальных путей в сетях с OBS ограничить использование параллельных путей.

- разработана имитационная модель полностью оптической сети GMPLS.

***Структура работы.*** Выпускная квалификационная работа (ВКР) содержит введение, две главы, заключения, список используемой литературы (43 наименования).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Введение.

1.1 Промышленные алгоритмы распределения информационных потоков.

1.1.1 Протокол RIP.

1.1.2 Протокол OSPF.

1.1.3 Гибридный протокол EIGRP.

1.2 Использование методов математического программирования для расчета маршрутов.

1.2.1 Определение сетевых задач в терминах связей и путей.

1.2.2 Определение сетевых задач в терминах узлов и связей.

1.2.3 Решение оптимизационных задач методом математического моделирования.

1.3 Методы реализации многопутевой маршрутизации. Технология MPLS.

1.3.1 Протокол LDP.

1.3.2 Задача о выборе оптимального пути.

1.3.3 Технология Traffic Engineering и механизмы MPLS, реализующие Traffic Engineering.

1.4. Коммутация каналов в полностью оптических сетях. Технология GMPLS.

1.4.1 Сеть оптической коммутации блоков.

1.4.2 Технология DWDM.

2.1.1 Объекты сети OBS.

2.1.2 Протокол CR-LDP.

2.1.3 Расчет текущей нагрузки вдоль MP BGP сессий.

2.1.4 Отказоустойчивость. Алгоритм резервных маршрутов.

2.1.5 Функциональная схема разработанной модели алгоритма динамической многопутевой маршрутизации.

2.2 Разработка имитационной модели сети GMPLS и моделирование разработанного алгоритма динамической маршрутизации.

2.2.1 Разработка модели сети OBS.

2.2.1.1 Модуль протокола установления канала связи.

2.2.1.2 Модуль DWDM сети.

2.2.1.3 Модуль фотонного коммутатора. Алгоритм коммутации.

2.2.1.4 Модуль имитации агента-источника данных.

2.2.2 ИМ сети OBS.

2.2.3 Оптимальное распределение трафика в сети IP MPLS ООО “ММТС”.

Заключение

## ВЫВОДЫ

Выпускная квалификационная работа посвящена изучению маршрутизации в сетях с коммутацией каналов с использованием технологии GMPLS. В работе разработан алгоритм динамической маршрутизации, который делает возможным более рационально и эффективно использовать потенциал сети за счет многопутевого распределения трафика в сравнении с уже существующими методами, которые основаны на выборе лишь одного пути с наименьшей метрикой.

В результате проведенных теоретических и практических исследований разработана модель алгоритма динамической маршрутизации сетей GMPLS с OBS, базирующегося на многопутевой маршрутизации. Полученный алгоритм выполняет принципы постановки и решения оптимизационной задачи для сетей, в основе которой лежит минимизация потерь сети. У сетей с многопутевой маршрутизацией есть преимущество над традиционными благодаря большему КПД использования ресурсов сети.

Результаты достигнуты на основе решения следующих задач:

1) Проанализированы существующие промышленные протоколы маршрутизации (EIGRP, RIP, OSPF). Рассмотрены актуальные технологии оптимальной маршрутизации трафика в сети (GMPLS, MPLS и MPLS с расширением TE), что делает возможным более широко рассмотреть проблемы увеличения производительности и КПД использования полностью оптических сетей передачи трафика

2) Сформулированы требования к разрабатываемому алгоритму распределения трафика, которые основываются на постановке и последствии решения оптимизационной задачи. В ходе исследований получены данные о возможности реализации многопутевого подхода в сетях OBS.

3) Определены основные проблемы, которые нужно решить для разработки и последующей реализации алгоритма распределения трафика, базируемого на уменьшении потерь блоков информации:

а) разработка алгоритма динамической маршрутизации (АДМ) для сетей OBS, который будет возможен к реализации как для сети на выделенном вычислителе, так и для сетей в децентрализованной схеме расчета оптимальных путей; наличие резервирования;

б) практическая программная реализация алгоритма;

в) разработка имитационной модели сети GMPLS, базируемой на сети OBS с использованием ПО NS3.

4. Созданы модули к ПО NS3 на языке C++, для реализации разработанного алгоритма.

5. Опытная проверка и оценка результатов на ПО и оценка.

6. Созданная модель АДМ, которая содержит в себе алгоритмы поиска оптимальных маршрутов, расчета резервных путей, и равного приоритета емкости сети всем потребителям сети. Для полученного АДМ разработана функциональная схема, которая наглядно показывает взаимодействие разработанных алгоритмов.

### Список использованных источников

1. Гольшко А. В., Лескова Н. А. Фотонный транспорт: концепция. // Вестник связи. - № 12, 2000.

2. Иванов П. Оптика в новой ипостаси. // Сети. - №23, 2003.

3. Гольшко А.В., Лескова Н.А. Оптическая коммутация блоков. // Вестник связи- №8, 2001.

4. Олифер В., Олифер Н. Искусство оптимизации трафика // Журнал сетевых решений LAN - №12, 2001.

5. Qiao C, Yoo M. Choices, Features and Issues in Optical Burst Switching // Optical Networking Magazine. - April 2000г стр 36-44.

6. Qiao C, Yoo M. Optical Burst Switching (OBS): A new paradigm for an Optical Internet. // Journal of High-Speed Networks, 1999 г стр. 69-84.

7. Павлов И. П. Системы DWDM: особенности и применение. // Сети и системы связи. - № 4, 2003.

8. Yoo M., Qiao C, Dixit S. QoS Performance of Optical Burst Switching in IP Over-WDM Networks. // IEEE journal on selected areas in communications. - vol. 18, no

9. - October 2000. 10. Технология волнового мультиплексирования (DWDM) Корпорация ЮНИ, 2004 - [http://www.uni.ru/article/art2536\\_dwdm.shtml](http://www.uni.ru/article/art2536_dwdm.shtml)

10. Qiao C, Yoo M.. A Novel Switching Paradigm for Buffer-less WDM Networks. // Proceedings of Optical Fiber Communication Conference (OFC). - Paper Th 1999г стр 177-179.

11. Гольштейн Е. Г., Юдин Д. Б. Задачи линейного программирования 168 транспортного типа. - М.: Наука, 1969. - 382с.

12. Кирьянов Д. В. Самоучитель MathCad 2001. - СПб.: БХВ-Петербург. – 2002г стр. 544.

13. Pioro M., Medhi D. Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks. - Morgan Kaufmann. – 2004г

14. Yen J.Y. Finding the K-shortest, loopless paths in a network. // Man. Sci., 17. – 1971г стр. 712.

15. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. 1965г стр. 460.

16. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. - СПб.: Питер; 2004г стр. 847

17. Березко М. П., Вишневецкий В. М., Левнер Е. В., Федотов Е. В.. Математические модели исследования алгоритмов маршрутизации в сетях передачи данных. // Информационные процессы, Том 1. - № 2, 2001г стр. 103-125.

18. Клейнрок Л. Коммуникационные сети. - М.: Наука, 1975.

19. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. - М.: Мир, 1979.

20. Шварц М. Сети ЭВМ. Анализ и проектирование. - М.: Радио и связь, 1981. 21.
- Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. - М.: Мир, 1989.
22. Мизин И. А., Богатырев В. А., Кулешов А. П. Сети коммутации пакетов. - М.: Радио и связь. - 1986.
23. Jackson J. R. Networks of Waiting Lines. // Operations Research, № 5. - 1957. -169г стр. 518-521.
24. Schwartz M., Cheung C.K. The Gradient Projection Algorithm for Multiple Routing in Message-Switched Networks. // IEEE Trans. Commun., vol. COM24, № 4 1976г стр. 449-456.
- 25 Gerla M., Kleinrock L. On the Topological Design of Distributed Computer Networks. // IEEE Trans. Commun., vol. COM-25, № 1. – 1977г стр. 48-53.
26. Frank M., Wolfe P. An Algorithm for Quadratic Programming. // Naval Research Logistic Quarterly, № 3. – 1956г стр. 95-110.
27. Федотов Е. В. Определение оптимальных маршрутов в сети пакетной коммутации. // В сборнике: Сетевая обработка информации. - М.: МДНТП, 1990г стр. 95-98.
28. Вишнеvский В. М., Федотов Е. В. Анализ методов маршрутизации при проектировании сетей пакетной коммутации. // 3rd I.S. "Teletraffic Theory and Computing Modeling". - София. – 1990г.
29. Мину М. Математическое программирование. Теория и алгоритмы. - М.: Наука - 1990г
30. Поляк Б. Т. Введение в оптимизацию. - М.: Наука. – 1983г
31. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1969г
32. Зайченко Ю. П. Задачи проектирования структуры распределенных вычислительных сетей. // Автоматика, № 3. – 1981г стр. 35-44.
33. Жожикашвили В. А., Вишнеvский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. - М.: Радио и связь. - 1988.
34. Нижарадзе Т. З. Алгоритм оптимальной маршрутизации в сетях оптической коммутации блоков // Информационные технологии моделирования и управления № 6(24). - Воронеж: науч.-техн. журнал, 2005г стр. С. 872-877.
35. Нижарадзе Т. З., Суконщиков А. А. Метод оптимального распределения трафика в сетях оптической коммутации блоков // Информационновычислительные технологии и их приложения. - Пенза: РИО ПГСХА, 2005г стр. 152-155.
36. Нижарадзе Т. З., Суконщиков А. А. Решение задачи оптимального распределения трафика в сетях оптической коммутации блоков // Системы и методы обработки и анализа информации: Сборник научных статей 2005г стр. 175-180
37. Нижарадзе Т. З. Среда имитационного моделирования сетей оптической коммутации блоков. // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и искусственного интеллекта: Материалы межд. науч.-техн. конф. - Вологда: ВоГТУ, 2005г стр. 106-109.
38. Нижарадзе Т. З., Суконщиков А. А. Алгоритм коммутации блоков данных в сети оптической коммутации блоков. // Автоматизированная подготовка машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы межд. науч.-техн. конф. Т.2. - Вологда: ВоГТУ, 2005г стр. 103-106.
39. Нижарадзе Т. З. Моделирование сетей оптической коммутации блоков с использованием пакета Network Simulator - 2. // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Материалы VII межд. науч.-техн. конф.т.2. - Воронеж, 2006. - С. 773-781.
40. Нижарадзе Т. З. Алгоритм многопутевой маршрутизации в сетях оптической коммутации блоков. // Системы управления и информационные технологии № 2.1(24) - Воронеж: науч.-техн. журнал, 2006-С. 167-170.
41. Сетевой симулятор ns-3. - Электрон, докум. и прогр. <http://www-mash.CS.Berkeley.EDU/ns>

42. Официальный сайт проекта VINT <http://www.isi.edu/nsnam/vint/index.html>
43. Вопросы развертывания MPLS TE  
<http://www.cisco.com/en/US/tech/tk436/tk428/technologies>