

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin
(editors)

Natural and Artificial Intelligence

ITHEA

SOFIA

2010

Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin (ed.)

Natural and Artificial Intelligence

ITHEA®

Sofia, Bulgaria, 2010

ISBN 978-954-16-0043-9

First edition

Recommended for publication by The Scientific Council of the Institute of Information Theories and Applications FOI ITHEA

This book is engraved in prof. Zinovy Lvovich Rabinovich memory. He was a great Ukrainian scientist, co-founder of ITHEA International Scientific Society (ITHEA ISS). To do homage to the remarkable world-known scientific leader and teacher this book is published in Russian language and is concerned to some of the main areas of interest of Prof. Rabinovich.

The book is opened by the last paper of Prof. Rabinovich specially written for ITHEA ISS. Further the book maintains articles on actual problems of natural and artificial intelligence, information interaction and corresponded intelligent technologies, expert systems, robotics, classification, business intelligence; etc. In more details, the papers are concerned in: conceptual problems of the natural and artificial intelligent systems: structures and functions of the human memory, ontological models of knowledge representation, knowledge extraction from the natural language texts; network technologies; evolution and perspectives of development of the mechatronics and robotics; visual communication by gestures and movements, psychology of vision and information technologies of computer vision, image processing; object classification using qualitative characteristics; methods for comparing of alternatives and their ranging in the procedures of expert knowledge processing; ecology of programming – a new trend in the software engineering; decision support systems for economics and banking; systems for automated support of disaster risk management; and etc.

It is represented that book articles will be interesting for experts in the field of information technologies as well as for practical users.

General Sponsor: Consortium FOI Bulgaria (www.foibg.com).

Printed in Bulgaria

Copyright © 2010 All rights reserved

© 2010 ITHEA® – Publisher; Sofia, 1000, P.O.B. 775, Bulgaria. www.ithea.org; e-mail: info@foibg.com

© 2010 Krassimir Markov, Vitalii Velychko, Oleksy Voloshin – Editors

© 2010 Ina Markova – Technical editor

© 2010 For all authors in the book.

© ITHEA is a registered trade mark of FOI-COMMERCE Co.

ISBN 978-954-16-0043-9

C/o Jusautor, Sofia, 2010

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ С ТЕХНОЛОГИЕЙ MPLS

Юрий П. ЗАЙЧЕНКО, Елена ЗАЙЧЕНКО

Abstract Software tools for MPLS networks design are elaborated and presented in this work. The software tools are based on original methods and algorithms suggested by authors and includes algorithms for solution numerous tasks of channels capacities assignment, flows distribution, survivability analysis and structural synthesis. The elaborated models and algorithms take into account the specificity of MPLS technology. The results of experimental investigations and practical implementation of the suggested software tools are presented/

Keywords: MPLS technology, capacities assignment/, flows distribution, topological optimization, survivability analysis).

ACM Classification Keywords: A.0 General Literature - Conference C.1.0 General COMPUTER-COMMUNICATION NETWORKS C.2.1 Network Architecture and Design. Network communications:

Введение

Бурный рост сети Интернет, острые потребности пользователей в передаче разнотипных видов информации- аудио, видео и данных, в частности мультимедийной информации, потребовали разработки новой коммуникационной технологии, способной передавать эти виды информации на высоких и сверхвысоких скоростях и обеспечивать при этом требуемое качество обслуживания, различное для разных видов информации. Такой технологией явилась технология многопротокольной коммутации меток (MPLS), которая возникла на рубеже двух веков и в настоящее время интенсивно развивается, охватывая все новые и новые области приложений [1,2]. Технология MPLS стала унифицированным транспортным механизмом для большинства сетевых технологий, в частности, технологий IP, ATM, быстрой передачи кадров FrameRelay, а также технологии локальных сетей-Ethernet.

Специфическими особенностями технологии MPLS являются следующие:

- 1) Наличие различных классов сервиса (ClassofService –CoS) до 8 классов, которые обслуживаются в маршрутизаторах (LSR) с относительными приоритетами.
- 2) Введение показателей качества обслуживания (QoS) , а именно средняя задержка в доставке пакетов $T_{cp,k}$ для разных классов и доля потерянных пакетов – PLR (PacketsLossratio).

Появление новой технологии поставило на повестку дня разработку моделей и методов для анализа и оптимального проектирования сетей MPLS . Такие модели и методы должны учитывать особенности технологии MPLS. В работах авторов был разработан комплекс моделей и методов и инструментальных средств на их основе, для анализа и оптимизации характеристик и структур сетей с технологией MPLS [1,2].

Целью настоящего доклада является краткое изложение основных моделей, методов, а также функций инструментального комплекса для анализа и синтеза сетей “MPLSNetBuilder”.

Комплекс моделей и методов анализа и синтеза сетей с технологией MPLS

- 1) В работах [2,3] разработаны аналитические модели оценки показателей качества сервиса–средней задержки $T_{cp,k}$.

$$T_{cp,k} = \frac{1}{H_{\Sigma}^{(k)}} \sum_{(r,s) \in E} \frac{f_{rs}^{(k)} \sum_{i=1}^k f_{rs}^{(i)}}{\left(\mu_{rs} - \sum_{i=1}^{k-1} f_{rs}^{(i)} \right) \cdot \left(\mu_{rs} - \sum_{i=1}^k f_{rs}^{(i)} \right)} \quad (1)$$

и доли потерянных пакетов- PLR (PacketsLossRatio) для различных классов сервиса в сетях MPLS. Эти модели учитывают специфику технологии MPLS и используются для решения многих задач анализа и синтеза сетей MPLS.

В [3] сформулирована **задача распределения потоков** (РП) различных классов в сети MPLS, разработан и исследован алгоритм РП. Данная задача формулируется следующим образом:

Задана сеть с технологией MPLS в виде графа $G = (X, E)$, где $X = \{x_j\}_{j=1, \overline{n}}$ - узлы сети (коммутаторы MPLS) и $E = \{(r, s)\}$ - множество дуг (каналов связи). Имеем возможный набор пропускных способностей (скоростей передачи) каналов связи – $\{\mu_{rs}\}, (r, s) \in E$.

Пусть также введены классы обслуживания (CoS – Classofservice), задана матрица требований для k -го класса $H(k) = \|h_{i,j}(k)\|, k = \overline{1, K}$, где $h_{i,j}(k)$ - интенсивность потока, который необходимо передать от узла i в узел j . Кроме того, введены показатели качества QoS для каждого класса в виде ограничения на среднюю задержку - $T_{зад}(k)$.

Необходимо выбрать маршруты передачи $\{\pi_{ij}\}$ и найти такое распределение потоков всех классов $F(k) = [f_{rs}(k)]$, при которых обеспечивается передача заданных величин потоков со средней задержкой, которая не превышает $T_{зад}(k)$.

В работе исследованы свойства оптимального потока и предложен алгоритм ее решения.

2) В работе [2,3] рассмотрена комбинированная задача **выбора пропускных способностей и распределения потоков (ВПСРП)** в сетях MPLS. Она формулируется так.

Задана сеть MPLS в виде орграфа $G = (X, E)$, где $X = \{x_j\}_{j=1, \overline{n}}$ множество узлов сети, $E = \{(r, s)\}$ - множество каналов связи (КС), набор пропускных способностей (ПС) каналов $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ и их удельных стоимостей $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$. Заданы также матрицы требований входящих потоков соответствующих классов $H = \|h_{ij}^{(k)}\|, i, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, K}$ и ограничения на среднюю задержку для классов потоков $T_{cp,k}$,

Требуется выбрать такие ПС каналов связи $\{\mu_{rs}^{(0)}\}$ и найти распределение потоков всех классов $F(k) = [f_{rs}(k)]$, при которых стоимость сети будет минимальной, а установленные ограничения на задержки по классам будут выполняться полностью. Математическая модель данной задачи будет иметь следующий вид:

$$\text{Найти, } \min C_{\Sigma} = \sum_{(r,s) \in E} C_{rs}(\mu_{rs}) \quad (2)$$

при ограничениях

$$T_{cp,k}(F(k), \mu_{rs}) \leq T_{зад,k}, k = \overline{1, K} \quad (3)$$

В работе [2,3] предложен и исследован метод решения задачи ВПСПП для сетей MPLS.

3) Важным показателем эффективности функционирования сетей является живучесть. В работах авторов были впервые предложены **показатели живучести** (ПЖ) сетей с технологией MPLS. и разработан метод анализа и оптимизации сетей по этим показателям.

Поскольку основное назначение сети с технологией MPLS является передача заданных величин входящих потоков различных классов, то *живучесть сети MPLS предлагается оценивать величиной максимального потока, который возможно передать в сети при отказах ее элементов- каналов и узлов при сохранении заданных показателей качества.*

В работах [1] для анализа показателей живучести сетей MPLS был введен следующий комплексный показатель;

$$P\{H_{\Sigma}^{\Phi}(1) \geq r\% H_{\Sigma}^0(1)\}, P\{H_{\Sigma}^{\Phi}(2) \geq r\% H_{\Sigma}^0(2)\} \dots P\{H_{\Sigma}^{\Phi}(k) \geq r\% H_{\Sigma}^0(k)\} \quad (3.2)$$

где $H_{\Sigma}^0(k)$ - величина потока k -го класса в безотказном состоянии сети (номинального потока);

$H_{\Sigma}^{\Phi}(k)$ - фактическая величина потока класса k в случае действия отказов, $r=(50 \div 100)$, $k = \overline{1, K}$.

Таким образом, показатели живучести определяют распределение вероятностей передачи заданной доли номинального потока при отказах ее элементов. Предложен алгоритм оценки комплексного показателя живучести для сетей MPLS и проведены его исследования для различных примеров сетей.

4) Важной задачей завершающего этапа процесса проектирования сетей является **задача структурного синтеза сетей по критерию стоимости** при ограничениях на показатели QoS и живучести.

В работах [4] были впервые сформулирована постановка задача структурного синтеза сетей MPLS. предложен и исследован генетический алгоритм синтеза структуры .

Задано множество узлов сети $X = \{x_j\} j = \overline{1, n}$ - маршрутизаторов MPLS (так называемых LSR-LabelSwitchingRouters), их размещение по территории региона, набор пропускных способностей каналов связи $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$, из которых ведется синтез, их удельных стоимостей на ед. длины $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$, определены классы обслуживания CoS (ClassofService), известны матрицы входящих требований для k -го класса $H(k) = \|h_{ij}(k)\| i, j = \overline{1, n}; k = 1, 2, \dots, K$, где $h_{ij}(k)$ – интенсивность k -го класса, который необходимо передавать из узла i в узел j за единицу времени, Кроме того, введены ограничения на показатели качества (QoS) для каждого класса k в виде ограничения на среднюю задержку $T_{зад,k}$, $k = \overline{1, K}$.

Требуется найти структуру сети в виде набора каналов связи (КС) $E = \{(r, s)\}$, выбрать пропускные способности (ПС) каналов связи $\{\mu_{rs}\}$ и найти распределение потоков всех классов $F(k) = [f_{rs}(k)]$, таким образом, чтобы обеспечить передачу требований всех классов $H(k)$ в полном объеме и с

задержками T_{cp} , не превышающими заданные $T_{зад,k}$ и при этом бы выполнялись ограничения на долю потерянных пакетов CLP_k , а стоимость сети была бы при этом минимальной [1,4].

В работах [1,4] предложен и исследован генетический алгоритм синтеза структуры сетей MPLS.

Структура и функции инструментального программного комплекса “MPLSNetBuilder”

Программный комплекс “MPLS NetBuilder” состоит из следующих функциональных модулей [1]:

- Модуль оценки показателей качества (QoS), а именно, средней задержки $T_{cp,k}$ и доли потерянных пакетов PLR_k .
- Модуль анализа и оптимизации функциональных характеристик сетей MPLS, включающий программы РП и ВПС РП.
- Модуль анализа живучести сетей с технологией MPLS, включающий программы нахождения максимального потока (НМП) в сети при отказах её элементов.
- Модуль структурного синтеза сетей MPLS.

Информационные взаимосвязи между модулями приведены на рис 1.

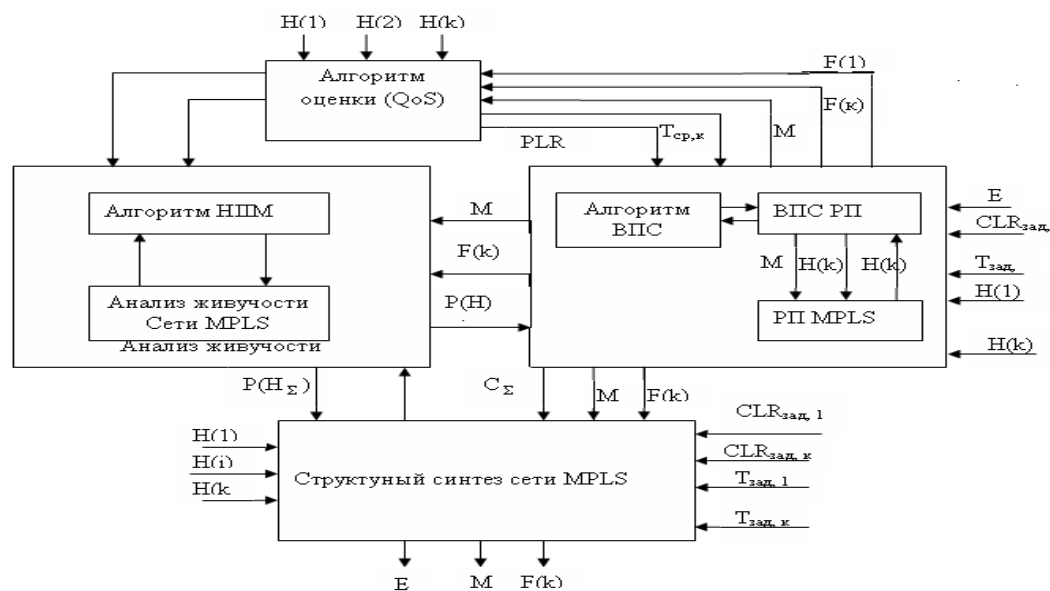


Рис.1. Структурная схема инструментального комплекса анализа и синтеза сетей “MPLS NetBuilder”

Кроме основных функциональных модулей, в состав комплекса входят служебные программные модули, включающие программный модуль интерфейса с пользователем – проектировщиком.

Этот программный модуль позволяет выводить синтерованную структуру в виде карты, осуществлять процедуры проектирования структуры в интерактивном режиме, выводить по указанию пользователя на экране монитора распределения потоков и маршруты передачи, характеристики каналов связи, распределения потоков в КС и их загрузки и характеристики узлов.

Для работы программного комплекса “MPLS NetBuilder” разработан и реализован банк данных, состоящий из отдельных баз данных, таких, как:

- База данных требований входящих потоков.

- База данных каналов связи (их стоимостных и функциональных характеристик, пропускных способностей).
- База данных узлов сети с их характеристиками.
- База данных распределения потоков различных классов и др.

Все функциональные программные модули взаимодействуют друг с другом через банк данных.

В качестве СУБД используется MySQLServer.

Программный комплекс “MPLS NetBuilder” позволяет решать широкий комплекс задач анализа, оптимизации и синтеза структуры сетей с технологией MPLS при обеспечении заданных показателей качества средней задержки T_{CP} и доли потерянных ячеек PLR для различных классов сервиса, а также анализировать показатели живучести и оптимизировать структуру сетей MPLS при ограничениях на установленные значения показателей живучести.

По своим функциональным возможностям и характеристикам данный комплекс не имеет аналогов.

Результаты экспериментальных исследований

Проведены широкие экспериментальные исследования методов и алгоритмов инструментального комплекса. Некоторые из них представлены ниже. Алгоритмы РП и ВПСП исследовались на сети Украины, структура которой приведена на рис.2.



Рис. 2

Рассматривалось три класса сервиса. В ходе экспериментов в алгоритме РП увеличивалась матрица требований по передаче соответствующего трафика с помощью умножения на коэффициент k . На этот коэффициент умножаются все требования матрицы $H(k)$ по передаче соответствующего трафика. При увеличении входящих требований по передаче трафика увеличиваются потоки в каналах связи, а, следовательно, увеличивается и задержка по типам сервисов. Зависимость задержки для первого класса (K_1) приводится на рис. 3, а для второго класса (K_2) - на рис. 4.

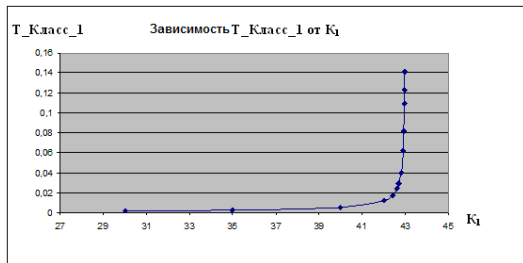


Рис.3

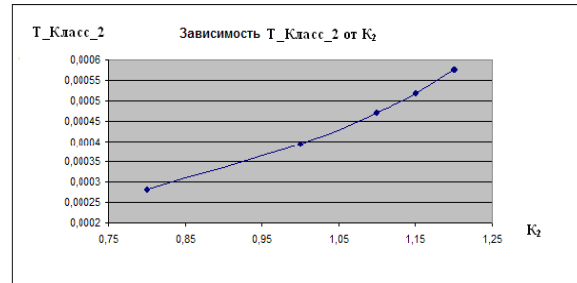


Рис.4

Из представленного графика на рис.3 видно, что время задержки начинает стремительно расти при достижении полной пропускной способности канала связи.

В следующей серии экспериментов исследовался алгоритм ВПСРП. В этих экспериментах исследовались зависимости стоимости сети от вариации ограничений на среднюю задержку для различных классов сервиса. Соответствующая зависимость для класса 2 приводится на рис. 5

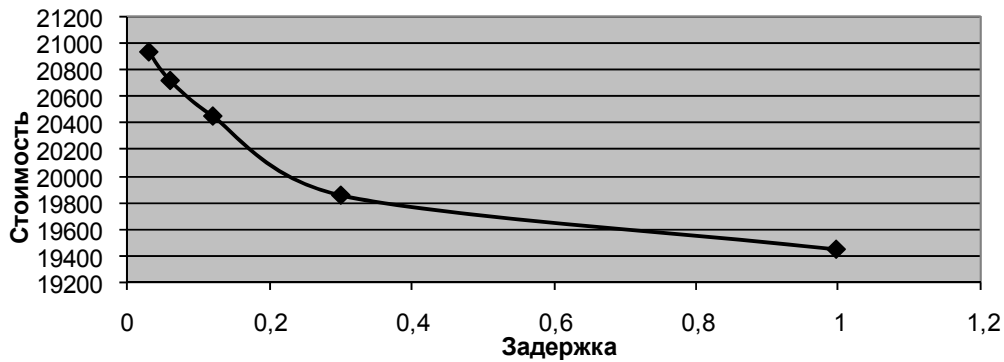


Рис. 5

Как и следовало ожидать, ужесточение требований по средней задержке приводит к увеличению стоимости сети. Это объясняется тем, что для обеспечения заданных значений T_{cp} приходится увеличивать ПС каналов.

В следующем эксперименте исследовалась зависимость стоимости сети от изменения объемов входящих требований. При этом исходная матрица H умножалась на коэффициент пропорциональности K : Соответствующие результаты приведены на рис.6.. Полученный вид зависимости хорошо согласуется с теорией

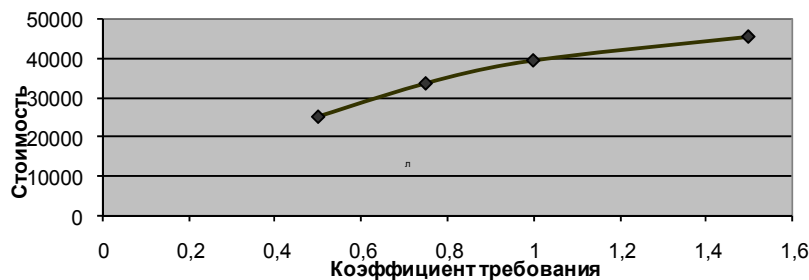


Рис. 6

В последующих экспериментах исследовался генетический алгоритм структурного синтеза сетей, При этом варьировались матрицы входящих требований и ограничения на показатели качества. Анализируя полученные структуры сети при варьировании коэффициента пропорциональности k в диапазоне 0.2-2.0 сделан вывод об *устойчивости базовой структуры (бекбона) сети* в широком диапазоне вариации входящей нагрузки (при десятикратном её увеличении). Это свидетельствует о высокой эффективности разработанного метода структурного синтеза сетей.

Заключение

В докладе описан инструментальный комплекс алгоритмов и программ анализа и синтеза сетей с технологией MPLS. Созданный комплекс предназначен для решения многих задач оптимального проектирования сетей MPLS: распределения потоков, выбора пропускных способностей каналов связи, оценки и анализа показателей живучести и структурного синтеза сетей MPLS.

Проведены широкие экспериментальные исследования алгоритмов анализа и синтеза сетей.

Разработанный комплекс не имеет аналогов и позволяет сократить время проектирования, повысить обоснованность принимаемых проектных решений, снизить капитальные затраты на создание сетей.

Благодарности

Статья частично финансирована из проекта **ITHEA XXI** Института Информационных теорий и Приложений FOI ITHEA и консорциума FOIBulgaria (www.ithea.org, www.foibg.com)

Литература

- 1) Зайченко Е.Ю. Зайченко Ю.П. Сети с технологией MPLS: моделирование, анализ и оптимизация. К.: Изд. «Политехника». 2008.-
- 2) Зайченко Е.Ю. Комплекс моделей и алгоритмов оптимизации характеристик сетей с технологией MPLS// Системні дослідження та інформаційні технології.- 2007.-№ 4. –с. 58-71
- 3) Зайченко Ю.П., Ахмед А.М. Шарадка. Оптимизация распределения потоков в сетях с технологией MPLS с учетом задержки в маршрутизаторах // Электроника и связь. -2007. -№1. -С.84 -87.
- 4) Зайченко Ю.П., Е. Ю. Зайченко, Мохаммадреа Моссавари, Ашраф Абдель-Карим Хилал Абу-Аин. Структурный синтез компьютерных сетей с технологией MPLS// Системні дослідження та інформаційні технології.- 2006.-№ 4.-с.65-70.

Информация об авторах

Зайченко Юрий Петрович, профессор, д.т.н., «Институт прикладного системного анализа». Киев, НТУУ «КПИ», ул. Политехническая 14. тел: +38(044)406-83-93, e-mail: baskervil@voliacable.com

Зайченко Елена Юрьевна, профессор, д.т.н., «Институт прикладного системного анализа». Киев, НТУУ «КПИ», ул. Политехническая 14. тел: +38(044)406-83-93, e-mail: syncmaster@bigmir.net, vojtko@lotus.uz.gov.ua