

APPROACHES AND METHODS IN THE MPLS NETWORKS PLANNING

ПОДХОДИ И МЕТОДИ ПРИ ПЛАНИРАНЕТО НА MPLS МРЕЖИ

Georgi Petrov Georgiev¹, Seferin Todorov Mirtchev², Ignat Stefanov Stanev³

¹Telecommunication department, University of telecommunication and post, Student City, 1 Academician Stefan Mladenov St., Sofia, Bulgaria, tel.(+ 359) 2 806 22 23 , e-mail: goshko.georgiev@gmail.com

²Communication Networks Department, Technical University of Sofia 8 Kliment Ohridski St., 1000 Sofia, Bulgaria, tel. (+ 359) 2 965 22 54, e-mail: stm@tu-sofia.bg,
³e-mail: dr.i.stanev@talk21.com

**Георги Петров Георгиев¹, Сеферин Тодоров Мирчев²,
Игнат Стефанов Станев³**

¹Висше училище по телекомуникации и пощи, Студентски град, София, ул. „Акад. Стефан Младенов” № 1, тел.(+ 359) 2 806 22 23 , e-mail: goshko.georgiev@gmail.com

²Катедра „Комуникационни мрежи”, Технически университет – София, 1000 София, бул. Климент Охридски, № 8, тел. 02 965 22 54 e-mail: stm@tu-sofia.bg,

³e-mail: dr.i.stanev@talk21.com

Ключови думи: MPLS опорни мрежи, трафично инженерство, планиране на телекомуникационни мрежи

Keywords: MPLS, traffic engineering, telecommunication networks planning

Резюме – При планирането на капацитета на една MPLS мрежа е необходимо да се гарантира добро качество на обслужване, независимо от това дали тя работи нормално или има наличие на някакви повреди. В доклада се анализират механизмите за диференцирането на услугите, за да се осигури пренасяне на информация за различни приложения с различно качество на обслужване (QoS). Направен е преглед на различни архитектурни насоки и стратегии за проектиране на MPLS мрежи. Разгледана е комутацията на базата на етикети и ролята и в планирането. Установени са задължителните компоненти при планирането, с които всеки модел трябва да разполага. Разгледани са някои проблеми при използването на матрицата на трафика и решения по тези проблеми.

Abstract – Capacity planning of an MPLS network is necessary to ensure good quality of service, whether it works properly or where there some damages. The mechanisms for differentiation of services for providing transport for various applications with different quality of service (QoS) are analyzed. An overview of various architectural guidelines and strategies for the design of MPLS networks is made. The switching based on labels and roles in planning is viewed. The mandatory components of planning, that any model must have, are determined. Some problems of the use of the traffic matrix and solutions to these problems are discussed.

1. УВОД

През последните години сме свидетели на огромния ръст на трафика, пренасян през телекомуникационните мрежи, и на появата на общи социални зависимости в интернет. Предаваме информация с 100 терабита в секунда по едно оптично влакно с технологията за уплътняване по дължината на вълната, но само една повреда на едно оптично влакно може да бъде катастрофална. Устойчивото проектиране на мрежата, което се отнася до включване на стратегии за безотказно поведение, се прилага, за да се преодолее въздействието на отказите. То се е превърнало в жизненоважна част от проектирането на мрежата [1,2].

Трафикът на ниво пакети за различните приложения има различни характеристики. Този факт се наблюдава при новите приложения като видеоконферентна връзка, комуникации равен с равен (peer-to-peer) и мултимедийни приложения. Трафичните потоци за тези приложения са хетерогенни. Когато хетерогенните трафични потоци се мултиплексират, възникват значителни взаимни влияния. Освен изкривявания поради взаимните влияния, доставчикът може да не иска да обединява някои потоци, тъй като те принадлежат към трафик на конкурентни клиенти [3].

Употребата на мултимедийни приложения през интернет се развива бързо през последните няколко години. Говор в IP (VoIP), телевизия в IP (IPTV) и видео по заявка (VoD) са приложения, които набират все по-голяма популярност. Те са свързани с масовото навлизане на различни технологии за достъп, като например WiFi, WiMAX, UMTS и Ethernet LAN мрежи. Използването на тези приложения изисква качество на обслужване (QoS), обезпечаване и управление на всички съответни точки в Internet. Осигуряването на QoS изисква да се отчитат различни фактори като: алгоритми за маршрутизация, управление на ресурсните схеми, алгоритми за контрол на достъп, анализ на трафик, протоколи за сигнализация. Въпреки, че всеки един от посочените фактори е предмет на задълбочени изследвания през последните петнадесетина години, досега са намерени само частични решения, насочени към специфични мрежови технологии или специфични конструктивни блокове. Сред причините, които са попречили за цялостно решение на проблема, има добре известни проблеми като: хетерогенността на мрежата и децентрализирания контрол на интернет [4].

Качеството на обслужване е ефективно само, ако се постига от край до край. За да се постигне тази цел, трябва да се интегрират и синхронизират различни задачи, изпълнявани в различните равнини и мрежови сегменти, като се отчитат различни особености. Първо, интернет се състои от взаимно свързани автономни системи, чиято политика е до голяма степен независима. Второ, различните мрежови технологии, които съставят пътя от край до край, имат различни характеристики, което прави невъзможно проектирането, използвайки унифицирани решения за всички технологии. Трето, политиките на качеството

на обслужване трябва да се справят с потенциално голям брой потребители. Последно, но не и по важност, е че подобряването на качеството на обслужване се очаква да генерира нови приходи за мрежовия оператор. Трябва да се отчете и факта, че абонатите не желаят да плащат за ненадеждно и несертифицирано ниво на качеството на обслужване [5].

Доброто трафично проектиране е трудно да се приложи в публичните IP мрежи. Причината за това са специфичните характеристики и ограничените възможности на конвенционалните IP технологии. Един недостатък на конвенционалните IP системи е неефективното измерване и наблюдение на мрежовия трафик [6].

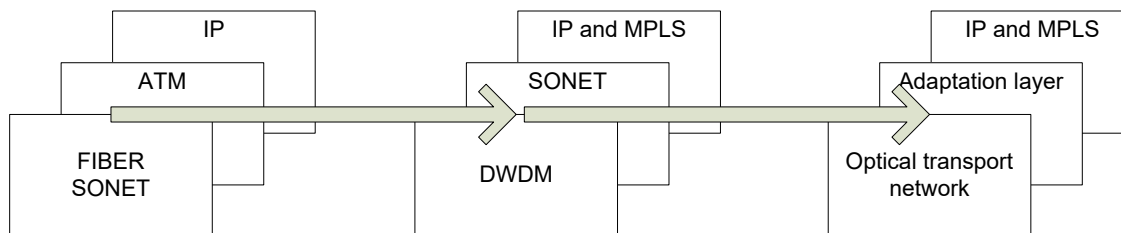
Мултипротоколът с комутация на етикети (Multi-Protocol Label Switching - MPLS) е стъпка в развитието на IP мрежите, при които IP трафикът се пренася чрез път с комутация на етикети (Label Switched Path - LSP) [7]. LSP е установена връзка между две MPLS мрежови крайни устройства, използващи сигнализиращ протокол като RSVP (Resource Reservation Protocol) или CR-LDP (Constraint-based Routed Label Distribution Protocol). Добавеният етикет към IP пакета се използва за маршрутизиране и комутация, както се противопоставя на анализа на адреса на базата на парадигмата на чиста IP мрежи. Такива маршрути се наричат LSP и маршрутизаторите, които поддържат MPLS, се наричат Label Switching Routers - LSR).

В MPLS мрежите се използват механизми за управление на опашките, които дават възможност да се предоставят QoS-базирани услуги. Обобщените MPLS мрежи (GMPLS) позволяват да се разшири обхвата на тези механизми като комбинация от устройства, които могат да извършват комутация не само в сферата на пакети, но могат да направят и времево разпределение, по дължината на вълната или на влакна [8]. Последното развитие на MPLS мрежите дава нови възможности за справяне с някои от най-големите проблеми на IP системи, свързани с трафичното инженерство.

2. ОСОБЕНОСТИ И ФАКТОРИ, ВЛИЯЕЩИ НА ПЛАНИРАНЕТО НА MPLS МРЕЖИ.

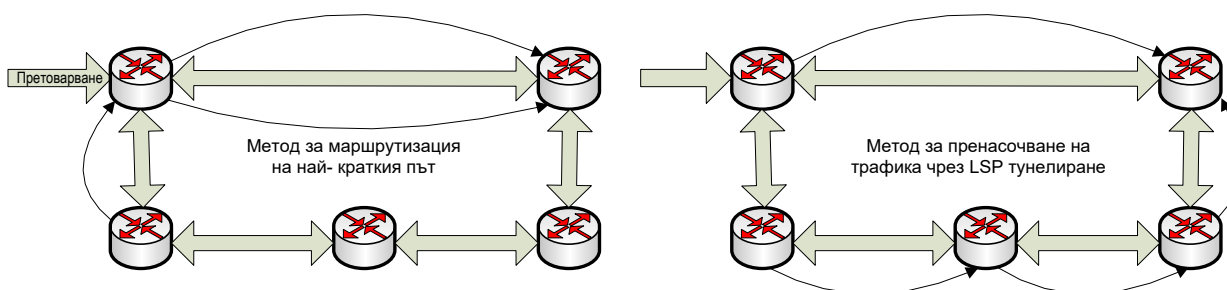
Моделът на наслагване е техника, която се прилага, преди MPLS, за да се заобиколят някои от ограниченията на IP системи по отношение на трафика. Основната идея е да се въведе вторична технология с виртуални канали и управление на трафика (например режим на асинхронно прехвърляне - ATM) в IP инфраструктура в конфигурация с наслагване. Технологията с виртуални канали служи за осъществяване връзка от точка до точка между IP рутерите. Мрежите постоянно търпят промени и развитие фиг.1, а с това еволюират и методите за проектиране и наблюдение.

Тунелите в MPLS мрежите позволяват оптимизиране по различни начини, например, като проблемите, свързани с претоварването, причинени от неоптималната маршрутизация. LSP тунелите могат да пренасочват трафика за излизане от претоварване, като заемат мрежови ресурси въз основа на тези параметри.



Фиг.1. Еволюция на мрежите

Множество LSP тунели могат да бъдат създадени между два възела, както и трафикът между възли да бъде разпределен между тунели според местна политика за управление. Фигура 2 показва как LSP тунелите могат да се използват за преразпределяне на трафика и за справяне с проблемите на претоварването, причинени от избора на най-кратък път.



Фиг.2. Тунели в мрежа с комутация чрез етикети

Проектирането на MPLS мрежи и управлението на трафика се състои от следните основни функционални компоненти: управление на пътищата; прехвърляне на трафика; разпространение на информация за състоянието на мрежата; управлението на мрежата [6].

Обикновено се разглеждат две версии на АВА (Automatic Bandwidth Allocation) за два различни типа трафик - канално ориентиран трафик (като TDM, говор) и пакетно ориентиран трафик (например IP). Канално ориентираният трафик изисква канал, за да се предостави услугата. Ако не може да бъде изграден такъв, заявката се отхвърля. Когато се прави проект на мрежата, трябва да се резервира определена честотна лента, за да се гарантира QoS. Когато услугата се предоставя през MPLS мрежата, каналът ще бъде заменен с LSP и функциите контрол на повикването и управление на опашката ще се изпълняват в основните възли. В [8] се предлага адаптивен модел, използващ хистерезисно базиран алгоритъм за автоматично разпределяне на честотната лента в MPLS мрежа.

Отправна точка за предоставяне на качество на обслужване от край до край (End-to-End QoS over Heterogeneous Networks - EuQoS) разработване на модел на качеството на обслужване, включващ фундаменталните архитектурни решения. След това описваме как една заявка на потребителя изисква

гарантирано QoS към системата EuQoS. За да се гарантира качеството на обслужване от край до край е необходимо да се предприемат следните действия в мрежата [5]: Предоставяне на ресурси в мрежата за QoS-гарантирани връзки (процес на провизиране); Запазване на осигурени средствата, които се свързват с входящи връзки (процес на извикване); Контролиране на състоянието и QoS на текущите връзки (операция администрация и поддръжка - OAM); Откриване и коригиране на QoS прекъсвания и система за неизправности.

Диференцираните услуги (DiffServ) са мащабируема технология за внедряване на QoS въз основа на споразумения за нивото на обслужване, което определя ангажименти на оператора по отношение на параметрите като например достъпност, закъснения, джитер и загуби. DiffServ са интегрирани с (MPLS) технологията. MPLS разделя маршрутизацията от предаването на информацията и създава връзка Paths Label Switching (PLS).

С цел по-нататъшно подобряване на QoS и за да се направи MTE (Multilayer Traffic Engineering) по-ефективно, техниката на DiffServ следва да бъде развита и адаптирана към интегрирана IP/MPLS оптична мрежа [9]. Предлагат се три техники за разделяне на услугите на класове:

1. Routing Policy Differentiation (RPD). Тази техника е алгоритъм, който взема решение за многослойна маршрутизираща политика в зависимост от класата на обслужване (CoS) на услугата, към която принадлежи.

2. Virtual Topology Differentiation (VTD). Тази техника изгражда различни виртуални топологии, използвани за „настаняване“ на трафик, принадлежащ към различни CoS.

3. Virtual Topology Sharing (VTS). Тази техника позволява различни виртуални топологии да споделят ограничено количество ресурси.

В момента NGN поддържа различни комутационни и транспортни пакетни технологии като IP, Ethernet, MPLS. Последната, въпреки че се основава на транспортно ориентирана парадигма, все още прилага политики за QoS и трафик сегрегация на база на всеки пакет. Вместо базирани на контролна равнина (Control Plane CP) мрежи, се използва обобщен MPLS (GMPLS) [10]. Оптичните мрежи с комутация по дължината на вълната (Wavelength Switched Optical Networks - WSONs) и бъдещите оптични мрежи с комутация на серии (Optical Burst Switching - OBS), не се поддържат от NGN, въпреки че включването на оптичния транспорт е предвиден. GMPLS разширява концепцията на MPLS като включва етикет, който характеризира пакета, разделянето по време, дължината на вълната и оптичните комутируеми мрежи. GMPLS осигурява обща контролна равнина (CP) за комутируемите мрежи, което позволява на абонатите да изградят връзки (пакетно комутируеми пътища). CP изпълнява сигнализация, маршрутизация и откриване на ресурси за автоматизиране на определени действия в услугите.

GMPLS протоколната група се състои от протокол за маршрутизация, обикновено Open Shortest Path First с тафично инженерство (OSPF-TE), сигнален протокол - Resource ReserVation протокол с тафично инженерство (RSVP-TE) и протокол за управление на връзката (Link Management Protocol -

LMP), за да се провери състоянието на мрежовите връзки. CP е снабден с интерфейс за управление на мрежа, кръстен CP Interface (CPI), което позволява управлението на протоколи, извличане на състоянието на мрежовите ресурси и задействане на RSVP-TE сигнализационни сесии [10].

Безжичните пълносвързани мрежи (Wireless Mesh Network - WMNs) са развита технология в наши дни и са подбрани от индустрията за справяне с пазарна ниша в много сфери. По отношение на нивото на услугите, предоставяни от мрежата, различните приложения имат различни критични изисквания по отношение на честотната лента, закъсненията и загубите. Минимизирането на загубите на пакети е от решаващо значение, там където загубата на данни е силно нежелателно или недопустимо, като критични сензори за наблюдение в реално време, дистанционно управление или видео наблюдение. Загубата на пакети може да се появи в безжични мрежи по няколко причини и при различни времеви скали [11]. Безжичният характер на самата преносна среда води до чести комуникационни грешки поради външен радиочестотен шум, съвместно разполагане на различни мрежи или смущения между множество възли, предаващи в същото време. По-дългите прекъсвания на услугата за доставка могат да произтекат от преходни неуспешни връзки поради временни препятствия по линията на пряката видимост между две антени или от по-критични, като загуба на мощност или откази на хардуера на възлите. Бързото премаршрутизиране (Fast Re-Routing - FRR) е техника, използвана за подобряване на устойчивостта на мобилната мрежа, която използва алтернативни пътища, за да достигне съседен възел чрез разместване на връзки или чрез друг съседен възел [12]. Тук решението се състои в специфична адаптация на концепцията за FRR в контекста на WMN. Трябва да се сведе до минимум изчислителната сложност за намиране на алтернативни маршрути и количеството на служебната информация. Вероятността за намиране на алтернативни маршрути, а оттам и подобряването на устойчивостта на мрежата се увеличава с увеличаване на плътността на разположените възли.

Виртуалните частни мрежи (Virtual Private Networks - VPN), проектирани с MPLS, имат и някои недостатъци [13]:

- Маршрутизиращият протокол (Border Gateway Protocol - BGP) е необходимо, за да се конфигурира потребителското оборудване, което изисква скъпи динамични маршрутизатори. Алтернатива на използването на BGP протокола е използването на статични маршрутизатори, но се намалява гъвкавостта, която динамичната маршрутизация предоставя;

- MPLS VPN мрежите са частни само на нивото на маршрутизация. Те не осигуряват автентикация и конфиденциалност. Доставчикът може да инспектира трафика на всички абонат. Дори по-лошо, тъй като отделянето се изпълнява на ниво маршрутизация, се оказва, че възможността за гарантиране на изолиране в рамките на същия VPN зависи от топологията на доставчика.

- Гарантирането на качеството на обслужване става чрез изграждане на пътища с комутация на етикети, което изисква поддържане на повече състояния на мрежата;

- В повечето конфигурации, клиентът и доставчикът споделят работата по поддържане на мрежата, което усложнява отстраняването на проблемите с маршрутите и връзката .

3. ПЛАНИРАНЕ И ТРАФИЧНО ПРОЕКТИРАНЕ НА MPLS МРЕЖИ.

Планирането на надеждни MPLS мрежи, които поддържат различни класове диференцирани услуги, трябва да гарантира, че ще има достатъчно налични ресурси и ще се гарантира качеството на обслужване както при нормални условия, така и при повреди. В [1,14] се предлага ефикасен подход за планиране на капацитета за надеждни MPLS мрежи чрез апроксимации на Лагранж и градиентни методи при нелинейни ограничения. Проблемът е формулиран като оптимизация на общата цена на връзката, като се избират маршрути от край до край и се определя дискретна стойност на капацитета за всяка връзка.

Трафичната матрица е от основните входни данни при планиране и симулиране на телекомуникационните мрежи. Чрез нея се описва какво количество трафик се предава между всяка двойка входящи и изходящи точки в мрежата [15]. При традиционните методи за планиране на мрежата се предполага, че трафикът на всяка двойка входящи и изходящи точки в мрежата е известен. Неговото определяне е трудно. Директните измервания в големите високоскоростни мрежи с такива инструменти като Netflow са сложен, тежък и продължителен процес. На практика се работи с оценка на трафичната матрица в условията на неопределеност. В [16,17] се предлагат модели с неопределени изисквания, базиран на оценка на трафика (Traffic Estimation-based Uncertainty Model), който се прилага за планиране на маршрутизацията в MPLS мрежи.

Функциите на MPLS мрежите може да бъдат разделени на две области: основна и гранична. Основната функция в ядрото на мрежата се изпълнява от MPLS транзитни маршрутизатори. Граничната функция се изпълнява от крайните маршрутизатори, които изпълняват класификация на пакетите и различни допълнителни функции (филтриране, баланс на натоварването, управление на трафика и др.). При внедряване на MPLS в съществуваща мрежа е необходимо първо да се избере местоположението на крайните и транзитните маршрутизатори. Важен проблем в този процес е избора на транзитните маршрутизатори и на връзките между тях, за да се изградят пътищата с комутация на етикети при зададените ограничения и минимална цена.

В [18] е представен аналитичен модел за синтез на оптимална структура на MPLS мрежи при зададени надеждност и честотна лента между крайните възли.

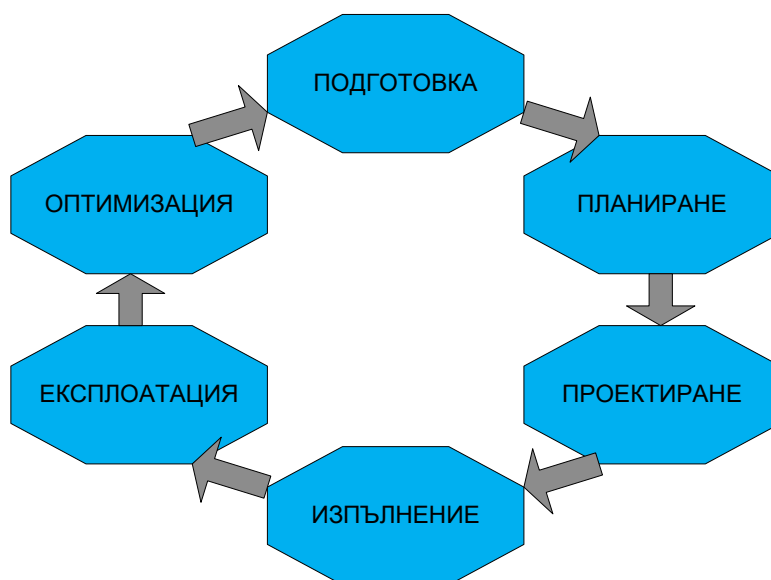
Решението на проблемите при избора на транзитните маршрутизатори и на връзките между тях включва следните етапи:

- Съставяне на матрицата на пътищата;

- Дефиниране на надеждността и наличната ширина на лентата на всяки комуникационен канал;
- Определяне на минимум възли и комуникационни канали, необходими за трансфера на дадено количество трафик между всички крайни възли според определени изисквания;
- Определяне на набор от избрани възли и комуникационни канали, което осигурява минимални разходи за организиране на MPLS мрежа.

Методология на проектирането

За да се проектира една мрежа, трябва да се определят [19]: нуждите на абонатите; целите на организацията; организационните ограничения; техническите цели; техническите ограничения. Планирането на мрежата е свързано с нейния жизнен цикъл, въз основа на които е разработена методология на проектирането. Жизненият цикъл на една мрежа, формализиран от Cisco в шест фази [20], е показан на фиг.3.



Фиг.3. Проектиране, базирано на жизнения цикъл на мрежата

Подходът на използване на жизнения цикъл на мрежата за планиране има следните предимства. Той понижава общата цена на мрежата (за изграждане и експлоатация), увеличава нейната наличност във всеки момент, подобрява гъвкавостта на бизнеса и ускорява достъпа до приложенията и услугите. Следвайки тази методология, проектантите, инженерите и администраторите дават възможност на потребителите на мрежата ефективно да използват целия натрупан до момента опит.

Шестте фази на жизнения цикъл са [4]:

- **Подготовка:** Тази фаза включва създаване на организационни изисквания, разработване на стратегия за мрежата, предлагане на концептуална архитектура на високо ниво, както и определяне на технологиите, с които може да се реализира най-добре тази архитектура. В подготвителната фаза се прави

финансова обосновка на мрежовата стратегия чрез икономическа оценка на предложената архитектура.

- **Планиране:** Тази фаза включва определяне на първоначалните мрежови изисквания в съответствие с поставените цели, наличните съоръжения, нуждите на абонатите и т.н. Тази фаза включва характеризирание на обектите и оценяване на съществуващите мрежи, за да се определи дали съществуващата системна инфраструктура, обектите и оперативната среда могат да подпомогнат предложената система. Проектният план улеснява управлението на задачите, отговорностите, критичните етапи и ресурсите, необходими за изпълнението на промените в мрежата. Той трябва да се приведе в съответствие с обхвата, разходите и параметрите на ресурсите, установени в първоначалните бизнес изисквания.

- **Проектиране:** Първоначалните изисквания, които са установени във фазата на планирането трябва да се доведат до знанието на проектантите. Спецификацията на мрежовия дизайн трябва да бъде всеобхватна, детайлна и да покрива всички организационни и технически изисквания. Тя трябва да включва спецификации за достъпност, надеждност, сигурност, модулност и производителност. Тези спецификации са в основата на дейностите по изпълнението.

- **Изпълнение:** След одобряването на проекта започва неговото изпълнение (и проверка). Изгражда се цялата мрежа или се добавят към съществуващата мрежа допълнителни компоненти според спецификациите на проекта, с цел интегриране на нови устройства, без нарушаване на работата на мрежата и без създаване на точки на уязвимост в нея.

- **Експлоатация:** Крайният тест за целесъобразността на един проект е дали той е работоспособен. Фазата на експлоатация включва поддържането на мрежата работоспособна чрез всекидневни операции за запазване на високата надеждност и намаляване на разходите. Откриването на грешки, корекциите, и мониторинга на резултатите от всекидневните операции служат като първоначални данни за фазата на оптимизация.

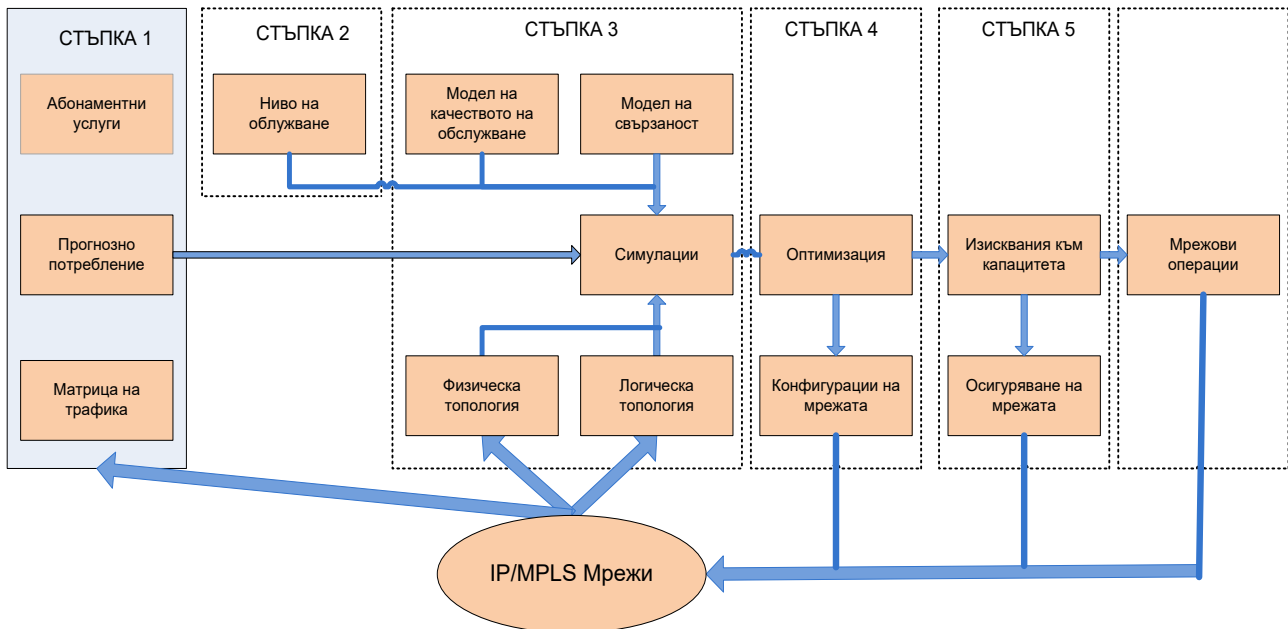
- **Оптимизация:** Фазата на оптимизация включва активно управление на мрежата. Целта на това управление е да се открият и разрешат проблеми, преди те да са се отразили на нормалната работа на мрежата. Когато активното управление не може да предскаже и смекчи проблемите, трябва да се приложи реактивно откриване на повреди и тяхното отстраняване. Фазата на оптимизация може да подтикне към ново проектиране, ако възникнат твърде много мрежови проблеми и грешки, както и ако изпълнението не отговаря на очакванията, или ако са открити нови приложения, удовлетворяващи организационните и технически изисквания.

Въпреки че проектирането е описано като една от шестте фази, то е свързано с останалите.

Целта на планирането на мрежите и на трафичното инженерство е да се предоставят достатъчни ресурси за предоставяне на услугите, за да се

удовлетворяват изискванията от споразумението за нивото на обслужване (Service-Level Agreement - SLA) при минимална цена.

Методологията за проектиране [20], базирана на жизнения цикъл, се състои от следните стъпки (фиг.4):



Фиг.4. Методология на планиране на мрежи

- **Стъпка 1. Идентифициране на изискванията на абонатите.** На тази стъпка се определят първоначалните изисквания. Уточняват се предоставените услуги, прогнозира се използваемостта и се съставя матрица на трафика. Тази стъпка обикновено се прави в подготвителната фаза на жизнения цикъл.

- **Стъпка 2. Характеризиране на съществуващата мрежа и на обектите.** Тази фаза обхваща характеризирание на обектите и анализ на съществуващите мрежи, за да се определи дали съществуващата инфраструктура, обектите и обкръжаващата среда са подходящи за предлаганата система. Характеризирането на съществуващата мрежа и на обектите включва техния одит, както и анализ на мрежата. При одита на мрежата се изследват главно нейната цялост и качеството, което тя предлага. При анализа на мрежата се изследва нейното поведение (трафик, претоварвания и т.н.). Въз основа на тези определените изисквания и на резултата от характеризиранието се предлага концептуална архитектура на мрежата от високо ниво.

- **Стъпка 3. Проектиране на топологията на мрежата и на отделните решения.** В тази стъпка се създава работния проект. Тук се вземат решенията за мрежовата инфраструктура, интелигентните мрежови услуги, както и други решения засягащи мрежата (например VoIP, начина на работа в мрежата и т.н.). Правят се симулации и анализи, свързани с планиране на мрежата при нормален режим на работа и при повреди. Може да бъде създаден и прототип

на мрежата, за да се провери нейния дизайн. Изработва се подробна документация на работния проект.

• **Стъпка 4. Оптимизация на мрежата.** Мрежата се оптимизира чрез средствата на телетрафичното инженерство. Оценяват се различни конфигурации, варианти: при различни технологии и различно оборудване и подходи: тактически, стратегически. Анализира се връзката между SLAs и целите на планиране на мрежата.

5. Анализ на характеристиките на мрежата. Оценка на капацитета на мрежата и осигуряване на различните изисквания.

След цикличния процес на планиране мрежата се пуца в експлоатация.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тази статия е представен обзор на планирането на телекомуникационни мрежи. Показани са специфичните особености на MPLS технологията, даваща възможност да се предоставят услуги с гарантирано качество на обслужване. Представен е метод за бързо маршрутизиране с етикети. При проектиране на MPLS мрежи е от голямо значение да се направи диференциация на услугите, на трафика и неговата връзка с качеството на обслужване. Представени са методи и схеми за подобряване качеството на обслужване. Коментирани са алгоритми за справяне с проблемите при избор на път. Показани са проблеми и решения при връзките между ядрото и крайните маршрутизатори в MPLS мрежи. Разгледани са особеностите, които трябва да се вземат предвид при проектиране и някои от начините за оптимизиране.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Wu K., D. Reeves. Capacity Planning of Survivable MPLS Networks Supporting DiffServ. Technical Report TR-2004-27, Department of Computer Science, NC State University, USA, April 2004, <http://reeves.csc.ncsu.edu/papers-and-other-stuff/2004-08-TR-survivable-MPLS-networks.pdf>
2. Madsen O. and T. Riaz *Planning broadband network infrastructure - a reference model*. Center for Network Planning, Aalborg, 2008.
3. Srivastava S., A. Liefvoort, D. Medhi. Traffic engineering of MPLS backbone networks in the presence of heterogeneous streams. *Computer Networks*, N: 53, 2009, 2688–2702.
4. Priscilla O. *Top-Down Network Design*, Third Edition, Cisco Press, 2011.
5. Mingozzi E., G. Stea, M. Callejo-Rodriguez, J. Enrriquez-Gabeiras, G. Garcia-de-Blas, F. Ramyn-Salquero, W. Burakowski, A. Beben, J. Sliwinski, H. Tarasiuk, O. Dugeon, M. Diaz, L. Baresse, E. Monteiro, *EuQoS: End-to-End Quality of Service over Heterogeneous Networks*, *Computer Communications*, N: 32, 2009, pp. 1355–1370.
6. Awduche D. MPLS and Traffic Engineering in IP Networks, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 37, Issue 12, December 1999.
7. Стоилов Е. Технология за многопротоколно етикетно комутиране (MPLS). Технически отчет. Научен електронен архив на НБУ, 2012.
8. Akar N., M. Toksz. MPLS automatic bandwidth allocation via adaptive hysteresis. *Computer Networks*, N: 55, 2011, 1181–1196.

9. Colitti W., K. Steenhaut, P. Gurzi, A. Nowé, D. Colle, B. Puype, M. Pickavet. Service differentiation in IP/MPLS over ASON/GMPLS networks. *Photon Netw Commun*, N: 19, 2010, pp. 301–310.
10. Baroncelli F., B. Martini, V. Martini, P. Castoldi. Extending next generation network (NGN) architecture for connection-oriented transport. *Computer Communications*, N: 34, 2011, pp. 1100–1111.
11. Bisti L., L. Lenzini, E. Mingozzi, C. Vallati, A. Erta, U. Malesci, Improved network resilience of wireless mesh networks using MPLS and Fast Re-Routing techniques, *Ad Hoc Networks* N: 9, 2011, pp. 1448–1460.
12. Aleksieva V. An Approach to Optimization of the Links' Load in the MPLS Domain. In proc. of ICEST'12, Vol.1, Sofia, 2012, pp. 439-442.
13. Cittadini L., G. Battista, M. Patrignani. MPLS Virtual Private Networks”, in *Recent Advances in Networking*, Vol. 1, ser. ACM SIGCOMM eBook, H. Haddadi and O. Bonaventure, Eds. ACM, 2013, pp. 275–304.
14. Wu K., D. Reeves. Capacity Planning of DiffServ Networks with Best-Effort and Expedited Forwarding Traffic. *Telecommunications Systems*, Vol. 25, Issue 3-4, March 2004, pp. 193-207.
15. Building Accurate Traffic Matrices with Demand Deduction. White Paper. Cisco Press, 2013.
16. Garcia J., M. Z. Hamouda, O. Brun. Network Planning: Traffic Matrices Estimation and Demand Uncertainty. *Studia Informatica Universalis*, Vol. 8, N:2, 2010, pp. 235—262.
17. Yang S., F. Kuipers. Traffic Uncertainty Models in Network Planning. *Communications Magazine*, IEEE, Vol. 52, Issue 2, pp. 172-177.
18. Abbasov A., I. Aliev. Mathematical Model of Selecting of the Optimal Structure of MPLS Networks, ISSN 0146_4116, *Automatic Control and Computer Sciences*, Vol. 44, No. 3, 2010, pp. 149–153.
19. Стоилов Е. Проектиране на корпоративни мрежи Част I: Архитектура, Технически отчет. Научен електронен архив на НБУ, 2014.
20. Best Practices in Core Network Capacity Planning. Architectural Principles of the MATE Portfolio of Products. White Paper. Cisco Press, 2013.