ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
ФАКУЛТЕТ ПО ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ
КАТЕДРА „КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ“

Маг. инж. Георги Петров Георгиев

ТРАФИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ, АНАЛИЗ И ПЛАНИРАНЕ НА IP БАЗИРАНИ МРЕЖИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.3. Комуникационна и компютърна техника

Научна специалност: Комутационни системи

Научни ръководители: Проф. дтн инж. Сеферин Тодоров Мирчев
Доц. д-р инж. Игнат Стефанов Станев

СОФИЯ, 2017 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Комуникационни мрежи“ към Факултета по телекомуникации на ТУ - София на редовно заседание, проведено на 23.10.2017 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 26.02.2018 г. от 15.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ- 347 / 29.11.2017 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. дтн инж. Сеферин Тодоров Мирчев – председател
2. Доц. д-р инж. Александър Костадинов Ценов – научен секретар
3. Проф. д-р инж. Борис Петков Цанков
4. Доц. д-р Емилия Тодорова Саранова
5. Доц. д-р инж. Камен Владимиров Рангелов

Рецензенти:

1. Доц. д-р инж. Александър Костадинов Ценов
2. Доц. д-р Емилия Тодорова Саранова

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултета по телекомуникации на ТУ-София, блок № 1, кабинет № 1439-Б.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Комуникационни мрежи“ на Факултет по телекомуникации при Технически университет - София. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: маг. инж. Георги Петров Георгиев
Заглавие: Трафични измервания, анализ и планиране на IP базирани мрежи
Тираж: 30 броя
Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Съвременните телекомуникационни мрежи стават все по-сложни поради тяхната технологична хетерогенност, функционална сложност на използваните протоколи и голямото разнообразие от предоставяни услуги и приложения. Планирането и управлението на тези мрежи изисква точни и ефективни измервания и мониторинг. Прилагането на класическите подходи за измерване, мониторинг и планиране на съвременни IP базирани мрежи е предизвикателна задача. Изследванията през последните години, проведени при мрежови измервания и трафичен мониторинг, доведоха до нови методологии и до извършване на задълбочени теоретични и статистически анализи. Казаното по-горе показва, че измерванията, мониторингът и планирането на реалните телекомуникационни мрежи е актуална задача.

Появата на широколентови и мобилни приложения, комбинирано с експоненциалното нарастване на използването на Интернет, води до лавинообразно нарастване на трафика. Това нарастване засилва важността на измерванията и мониторинга на Интернет, за да се осигури нормална работа, качество на предлаганите услуги и да се подпомогне бъдещото развитие на мрежата. Информацията от измерванията и мониторинга е необходима, за да се определи поведението на Интернет като цяло. Подходите за мрежови измервания и мониторинг са предлагани и разработвани през годините и служат за различни цели.

Чрез измерванията и мониторинга на Интернет се цели да се оценят и анализират различни аспекти като: топология и свързаност на мрежата; маршрутизация; сигурност; атаки; качество на обслужване; филтриране и т.н.

Развитието на IP базираните телекомуникационни мрежи е свързано с бързо нарастване на техния капацитет, предоставяне на голям брой широколентови услуги и приложения и гарантиране на качеството на обслужване и на сигурността на предоставените услуги. Редица автори на базата на трафични измервания и мониторинг посочват, че е необходимо да се разработят нови модели и методи за анализ на съвременните мрежи.

Мрежите постоянно еволюират. До скоро бяха актуални мрежите от следващо поколение (NGN - Next Generation Network), но вниманието се измести към бъдещите мрежи. Сега акцентът в информационните и комуникационните технологии е насочен към интернет на нещата, облачни комуникации и отдалечени изчислителни ресурси.

Облачните технологии са основен двигател на растежа и иновациите в глобалния ИТ сектор. Това е технология, която се използва да помага и развива онлайн ИТ инфраструктурата. Тя се превърна в новата тенденция за предоставяне на потребителски и бизнес приложения и услуги. Облакът е икономична, гъвкава и надеждна ИТ инфраструктура. Облачните услуги са всеобхватни. Отнасят се главно към хостинг услугите, които се управляват и се стига до тях през интернет или друга инфраструктура. Необходимо е те да бъдат изследвани по-задълбочено, за да може да се използва по-ефективно техният потенциал.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на дисертационния труд е да се предложат модели и методи за изследвания, свързани с трафични измервания, анализ и планиране на IP базирани мрежи, да се покаже приложението на тези изследвания в реалните мрежи и да се проведат експерименти в различни IP мрежови архитектури.

От целта на дисертационния труд произтичат следните задачи:

1. Разработване на ефективен метод за изследване на IP мрежи чрез мониторинг на трафика, портовете и други параметри на мрежата, така че мрежовите администратори да имат пълен контрол върху поверената им мрежа;

2. Анализиране на трафика в IP базирани мрежи и оценка на параметрите на качеството на обслужване като закъснения, загуба на пакети, джитер и др.;

3. Избор на надежден и проверен метод за обработка на резултатите, снети от измерването на мрежите, и представянето им за анализ в подходяща визуална форма;

4. Предлагане на обобщен модел за планиране на MPLS мрежи;

5. Симулиране на облачни изчислителни системи, като се изследва тяхната работа при различен вид на зададените входни данни и анализ на изходните резултати.

В дисертационния труд се използват разнообразни методики за трафични измервания, мониторинг, анализ, планиране и симулиране на IP базирани мрежи. Проведени са трафични измервания чрез мрежовите анализатори Colasoft Capsa и Wireshark, направена е статистическа оценка на резултатите от измерванията с пакета EasyFit. За оценка на качеството на обслужване при предоставяне на услугата VoIP е използвана симулационната програма OPNET IT Guru Academic Edition. Разработен е симулационен модел на едноканалната телетрафична система Pareto/MM/1/k с неравномерен входящ поток и мултимодално разпределение на размера на пакетите. За симулиране на облачни мрежи е използван симулатор на пакетно ниво GreenCloud.

Научна новост

Претенциите за научна новост в дисертационния труд са свързани с извършените трафични измервания на реални IP базирани мрежи и със статистическата оценка на измерения трафик и връзката му с разпределенията на Парето и мултимодалното. Научна новост е и оценката на качеството на обслужване при предоставяне на VoIP услуги, анализираната телетрафична система Pareto/MM/1/k за оценка на буферирането в IP мрежи, представената методология за планиране на MPLS мрежи, базирана на жизнения цикъл, а също и разработеният симулационен модел за изследване на облачни системи.

Практическа приложимост

Проектираната мрежова топология за услугата VoIP е приложима за свързаност през Интернет на два отдалечени офиса при използване на най-добрите кодеци и дисциплини на обслужване. Получените резултати и направените препоръки от тези изследвания могат да се използват при проектиране на VoIP мрежи.

Разработеният симулационен модел в реално време за оценка на стационарните вероятности на състоянията, вероятностите за загуби и закъсненията на системата Pareto/MM/1/k предоставя възможност да се моделират случайните процеси в съвременните телекомуникационни мрежи с пакетна комутация, включително и Интернет. Този модел ще помогне да се анализират проблемите със загубите и закъсненията в Интернет мрежите.

Представеният метод за проектиране на MPLS мрежи, базиран на жизнения цикъл, е приложим в практиката. Моделираните облачни мрежи могат да намерят приложение като частни, публични и хибридни облаци.

Апробация

Основните научни и теоретични резултати са докладвани и обсъждани на национални форуми и конференции с международно участие.

Публикации

Дисертационният труд е свързан с изследвания и разработки на автора през последните 6 години като резултатите са публикувани в 7 доклада на национални конференции с международно участие и 1 в рецензирано списание. Една от работите е самостоятелна.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от ***113*** страници, като включва увод, ***4*** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо ***153*** литературни източници, като ***148*** са на латиница и ***5*** на кирилица, а останалите са интернет

адреси. Работата включва общо *74* фигури. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1. Основни принципи, развитие и тенденции при мониторинга, трафичните измервания, анализа и планирането на IP базирани мрежи

IP мрежите са изключително сложни, изградени са на слоеста структура, използват голям набор от протоколи (TCP/IPl, UDP, HTTP) и др. Освен полезната информация се предава и голямо количество служебна такава, чрез която се управлява предоставянето на услуги от мрежата. Несъмнено най-голямата такава изградена мрежа е INTERNET. Разрастването на тази мрежа е свързано с предоставянето на много нови услуги, нови предизвикателства пред производителите на оборудване, пред проектантите и операторите на мрежата, нови изисквания към качеството на услугите, към терминалите и т.н. Тези мрежи използват различни устройства като комутатори, маршрутизатори, повторители и мостове. При тях имаме различни механизми на обслужване, контрол и управление, като използват голям брой приоритети и резервиране на ресурси, за да се осигури качество на обслужването. Те могат да обслужват както фиксирани така и мобилни абонати.

Трафичният мониторинг и мрежовите измервания стават все по-важни за съвременните сложни телекомуникационни мрежи. Специалистите по информационни технологии считат, че мониторингът и управлението на IP мрежата е добре изградена наука, която е необходима, сигурна и с устойчиво развитие.

Планирането на телекомуникационни мрежи е сложен и задълбочен процес, който трябва да доведе до правилното функциониране, а в последствие и до лесната експлоатация на мрежите. То е тясно свързано с последващи етапи при вече изградена мрежа като оптимизация, разширяване, добавяне на нови услуги и др. При планирането трябва да се спазват много и различни стандарти, така че мрежите от най-ново поколение да могат да работят съвместно с мрежи, които се извеждат от експлоатация или са морално остарели.

В тази глава е направен обзор на методите за измерване и мониторинг на трафика в IP мрежата. Описани са параметрите и характеристиките на трафика в IP базирани мрежи. Разгледани са основните принципи при анализа, симулирането и планирането на IP базирани мрежи, включително и на облачни изчислителни системи.

От анализа на състоянието на проблемите са направени следните изводи:

1. При избиране на метод за мониторинг на мрежата трябва да се съобразим с желаните от нас резултати, натовареността на мрежата и инструментите, с които ще извършим измерванията. Също така трябва да се съпоставят, анализират и оценяват всички предимства и недостатъци на методите и средствата за трафичния мониторинг.

2. Мониторингът на IP трафика има широк спектър на въздействие върху ефективното използване на мрежовите ресурси.

3. Телекомуникационните мрежи търпят постоянна промяна и еволюция в днешни дни. Сроковете за приспособяването им към новите, по-високи изисквания на потребителите са значително по-кратки в сравнение с края на миналия век. Затова се изисква постоянно планиране и проектиране на развитието на вече съществуващи такива и създаването на нови мрежи в отговор на повишаващия се трафик в тях.

4. Важно е да се изберат оптимални методи и средства за проектиране и симулиране на IP базирани мрежи. Като същевременно те трябва да отговорят на посочените предизвикателства и да са технически и финансово рентабилни.

5. Необходимо е да се разработи ефективен метод за изследване и анализ на трафика в IP базирани мрежи. Да се избере надежден и проверен метод за обработка на резултатите, снети от измерването на мрежите. Да се предложи модел за планиране на MPLS мрежи и да се симулират облачни изчислителни системи, като се изследва тяхната работа.

Глава 2. Трафични измервания в реални IP базирани мрежи

Мониторингът и измерванията придобиват голямо значение в съвременните сложни мрежи. Измерването на интернет трафика и неговият анализ са важни, за да могат да се избегнат много проблеми при предоставяне на услуги от мрежите, като загуба на данни и закъснения при техния трансфер. Измерването и анализът на интернет трафика могат да бъдат ефективни, въпреки различни предизвикателства при преноса на данни. Измерването на интернет трафика и анализът на неговите характеристики са сложни и трудни по различни причини като: динамичност при преноса на данни като размер и форма и разнообразие от протоколи в мрежата. Измерванията зависят от характеристиките на пренасяните данни, на предоставените услуги и на мрежата.

Измервания в IP базирани мрежи

В последните няколко десетилетия сме свидетели на развитието на голям набор от инструменти за измерване и наблюдение на интернет трафика. Програмите за измерване и наблюдение на интернет трафика се използват за: откриване и диагностициране на проблеми в мрежата; оценка на натовареността на мрежата и разпределение на трафика по приложения; проследяване на пробиви в сигурността; проверка работоспособността на протоколи; обучение за структурата и капсулиране на протоколите.

Инструменти за наблюдение на мрежовия трафик

Протоколните анализатори са може би най-често използваните инструменти, които всеки мрежов специалист и специалист по сигурност би използвал. Първите такива устройства са търгувани и продавани под името “Sniffer”. Това име оттогава е определение за какъвто и да е софтуер или хардуер, който може да „улавя“ и анализира мрежовия трафик. Въпреки че специализирано оборудване за провеждане на анализ на мрежови протоколи все още съществува, повечето съвременни продукти са софтуерно базирани. Това осигурява предимство в намалени разходи, мобилност и удобство.

Съществуват различни видове мрежови sniffing tools в зависимост от мрежата, приложенията или протоколите, които са налични на пазара. Най-разпространените sniffers на пакети са: Wireshark; Tcpdump; Soft perfect network protocol analyzer и др.. Много инструменти за мониторинг са базирани на Wireshark (предишно име Ethereal). Такива са мрежовите протоколни анализатори като Cacti, Monit, Ganglia, Munin, Nagios, Zabbix и др.

Идентифициране и измерване на интернет трафика

Точното идентифициране и измерване на трафика формира основата на икономическата оценка и на политиката за контрол на мрежата. Без да се идентифицират и измерват трафичните потоци на мрежите, доставчиците на услуги не са в състояние да осигурят нови абонатни услуги, да оптимизират споделеното използване на ресурсите и да гарантират правилното таксуване на абонатите. Класификацията на трафика е след неговата идентификация и включва извличане на необходимата информация (например, видео резолюция, тип преносна среда, произход на доставеното съдържание , и т.н.) и измерване на характеристиките (например, продължителност, брой на събитията, определяне на качеството на възприемане (QoE- Quality of Experience), и т.н.

Основно, при идентифициране, трафикът се асоциира и се описва в различни класове със следните компоненти:

• Протокол: строгият набор от правила и формати, които дефинират как два или повече елемента споделят информацията помежду си (може да се движи едностранно или в двете посоки). Примери UDP, TCP, HTTP, RTMP (Real-Time Messaging Protocol), SIP (Session Initiation Protocol), FTP и SMTP;

• Приложение: трафикът се асоциира с определена програма. Например: Skype, Netflix, PPStream, различни игри и т.н.;

• Интернет страница: всичките интернет страници, които са част от определен интернет домейн (област) и цялото съдържание, което се обменя с него;

• Услуга: по общо определение, което може да включи услуга за социални мрежи като Twitter и Facebook, облачни услуги като Salesforce, отдалечено съхраняване в реално време и други;

• Доставчик: използва се за разграничаване на марка в даден тип трафик. Например много доставчици на видео съдържание използват RTMP, а други използват SIP за гласови услуги.

Дори и в списъка по-горе, възможността за припокриване е очевидна. Реалността показва, че тези термини са тясно свързани и може да възникне спор дали определен трафик принадлежи към повече от един клас.

Съществуват и много други определения, които са важни за смисъла на класификация на трафика, включващи: Библиотека, Тип съдържание, Грешно позитивен (False Positives – FP), Грешно негативен (False Negatives – FN), Неразпознат, На върха (Over-the-Top), Състояния (Stateful), Трафик от данни и контролен трафик, Подпис (Signature) и др.

Извличане на данни и измервания

Когато трябва да се осигури информация за интернет трафика, преминаващ през мрежата на доставчика на съдържание, част от тази информация се идентифицира, част се извлича, друга част се измерва. „Трафичната идентификация“ се използва, за да се опише каква е същността на интернет трафика. Терминологията може да ни подведе за това, което всъщност се случва и да ни въведе в заблуждение за това, което не се случва. За илюстрация да вземем например, адаптивен видео поток (т.е., един поток, който може да промени качеството на дисплея към по-добро или по-лошо, според капацитета на мрежата), получен чрез RTMP рамките и Hypertext Transfer Protocol (HTTP) сесиите. Идентификацията на трафика, обикновено чрез задълбочено изследване на пакетите (Deep Packet Inspection - DPI), ще определи чрез анализ, че трафикът е RTMP в рамките на HTTP. Ако технологията за разпознаване разбира RTMP (т.е. е наясно с RTMP и може да анализира протокола), ще извлече допълнителна информация от сигналния трафик. Допълнителната информация може да включва контейнера, кодека и резолюцията. Проверката може още да разкрие използваната операционна система, уеб браузъра и модела на устройството. Решението може също така да предостави информация, включваща мрежата доставяща съдържание – CDN (Content delivery network), от която е дошъл трафикът. За да се определи доставчикът, се прилагат редица методи. Понякога източникът на домейна е ясен.

Измервания в LAN мрежа

Избраният за измерванията мрежов анализатор е Capsa. Той е подходящ за LAN и WLAN мрежи, като осигурява „улавяне“ на пакети в реално време 24 часа / 7 дни в седмицата **(**24/7). Capsa осигурява подробно и дълбочинно наблюдение на цялата мрежа, помага на мрежовите администратори или инженери бързо да откриват и отстраняват различни проблеми и гарантира ефективността на мрежовата среда. С него могат да се идентифицират и анализират повече от 300 мрежови протокола, както и мрежови приложения, базирани на протоколите. Може да се набелязват детайли като трафик, IP адреси, MAC (Media Access Control) адреси на всеки хост в мрежата, позволявайки лесна идентификация на всеки хост и на трафика, който преминава през него. Цялата мрежа се визуализира в елипса, която показва връзките и трафика между всеки един хост.

Фигура 2.1 е показана топологията на изследваната мрежа. Това е домашна IP базирана LAN мрежа за предаване на данни (Интернет) и IP телевизия. Съставена е от:

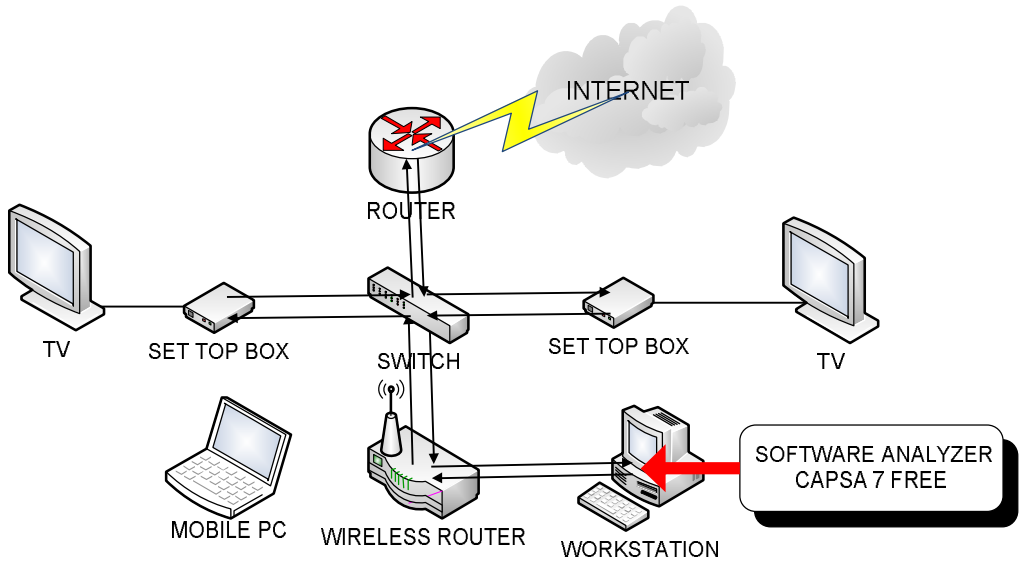
• Един основен рутер, осигуряващ достъпа до Интернет;

• Комутатор (switch), комутиращ трафика между устройствата;

• Два приемника на IP телевизия;

• Два телевизора;

• Безжичен рутер, разпределящ трафика вътре в мрежата.



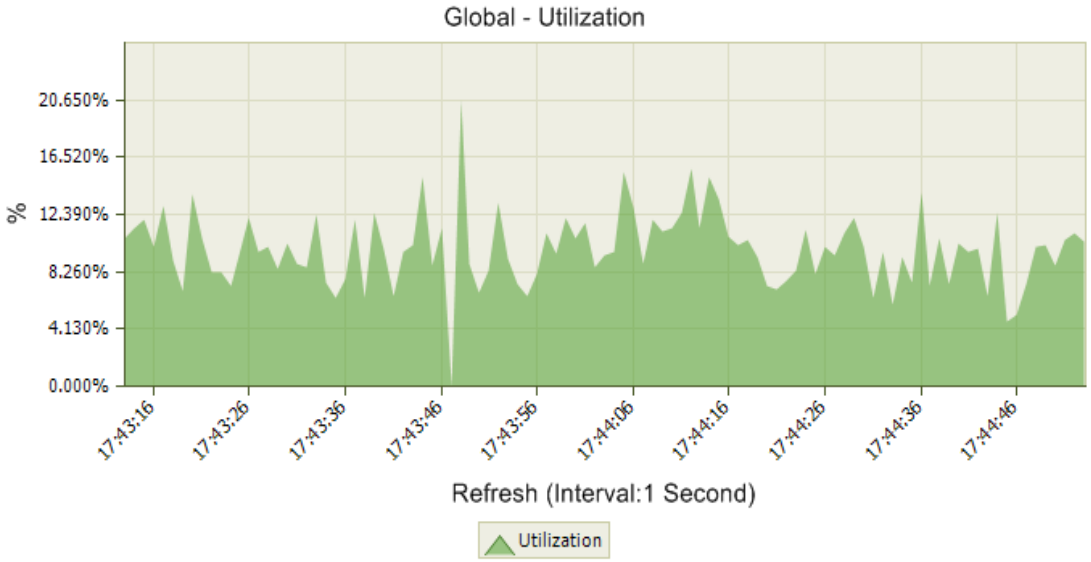
Фиг.2.1. Топология на изследваната LAN мрежата

В мрежата има стационарен и мобилен компютър, работещи постоянно. На стационарния компютър (работна станция) е инсталирана програмата за измерване и мониторинг Capsa.

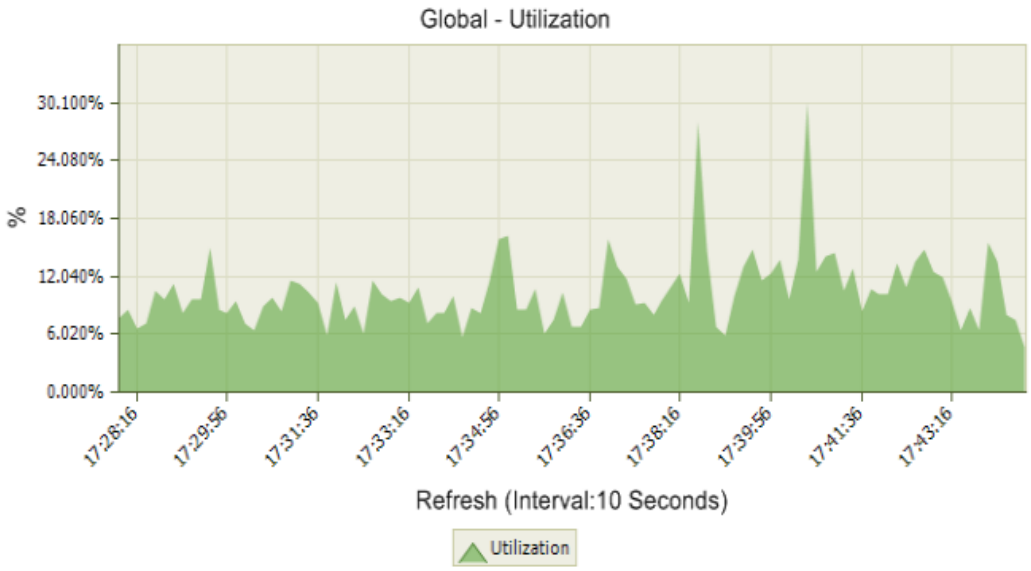
Целта е измерване на потока от данни (натоварването на мрежата) и оценка характеристиките на трафичните потоци.

Максималната скорост е 100 мегабита. Следващите времедиаграми (фигури 2.2, 2.3 и 2.4) представят натоварването на мрежата във функция на времето. Изследването е направено като интервалите на снемане на данни се променят от 1 на 10 и накрая на 60 секунди. Времето е от значение, защото поведението на поасоновите процеси и на процесите, притежаващи свойството себеподобие, е различно.

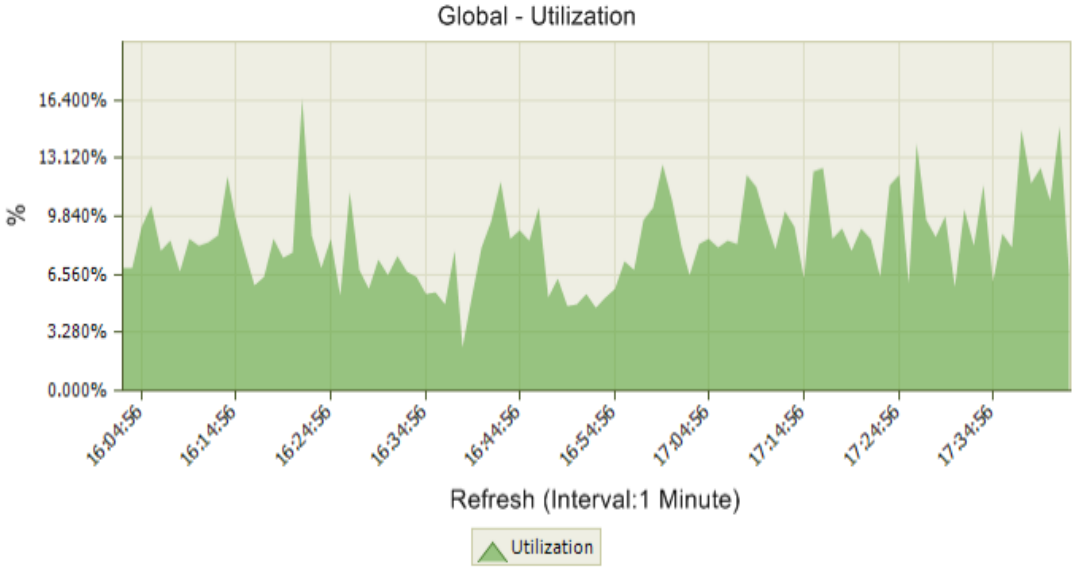
Както е показано на фигура 2.2 има вариация на натоварването от 0 до 20%. При снемане на данните през 10 секунди (фиг.2.3) натоварването се движи между 6 до 30%, а при отчитането през 60 секунди (фиг.2.4) изменението е от 2 до 16%. Следователно може да се заключи, че мрежовото натоварване има нееднороден характер. Колебанията на мрежовото натоварване показват, че трафичните потоци в локалната мрежа притежават и свойството себеподобие.



Фиг.2.2. Мрежово натоварване с интервал на снемане равен на 1 секунда



Фиг.2.3. Мрежово натоварване с интервал на снемане равен на 10 секунди



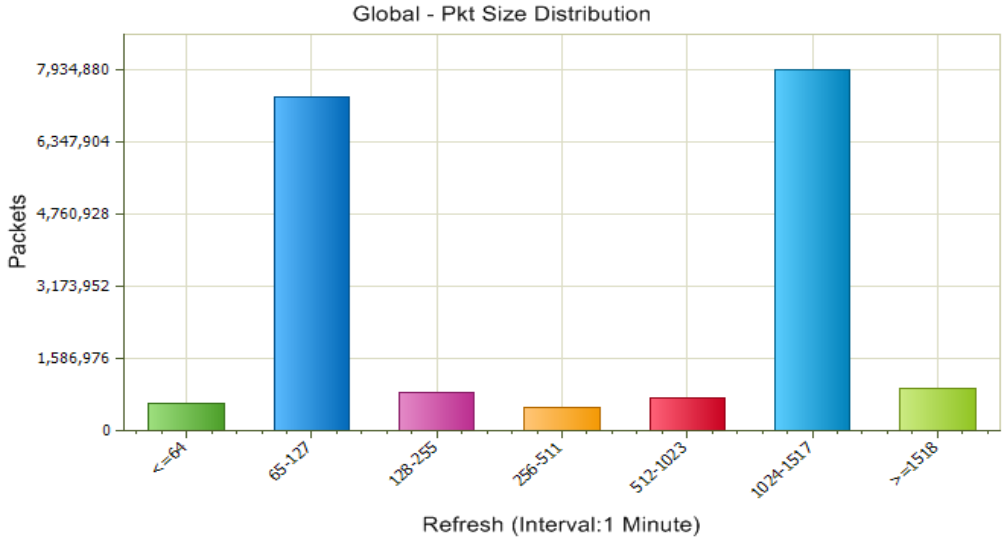
Фиг.2.4. Мрежово натоварване с интервал на снемане равен на 60 секунди

Ако се разгледа разпределението на размера на пакетите, се вижда, че пакетите, пренасящи главно служебна информация (65-127 байта) и пакетите, пренасящи полезната информация (1024-1517 байта), са приблизително еднакви като брой (фиг.2.9). Наблюдава се бимодално разпределение на размера на пакетите, което е характерно за съвременните IP мрежи.

Измервания на VoIP трафик

През последните години има тенденция да се използва интернет мрежата за гласови комуникации в реално време. VoIP е технология, която позволява да се пренася „говор“ през интернет или други мрежи с комутация на пакети. Традиционната телефонна комутируема мрежа пренася разговорната информация чрез комутация на канали. Много VoIP приложения съществуват в интернет: Skype, Viber, Tango и Yahoo messenger. Тези приложения осигуряват добро качество и безплатни разговори. При използване на VoIP технологията аналоговият разговорен сигнал се преобразува в цифров, компресира се и се разделя на поток от IP пакети за предаването в мрежата. За кодирането на сигнала са стандартизирани много кодеци. Най- разпространените от тях са G711, G722, G723, G726,

G728 и G729A. Всеки един от тях е с различно качество на звука, широчина на честотната лента и закъснения.

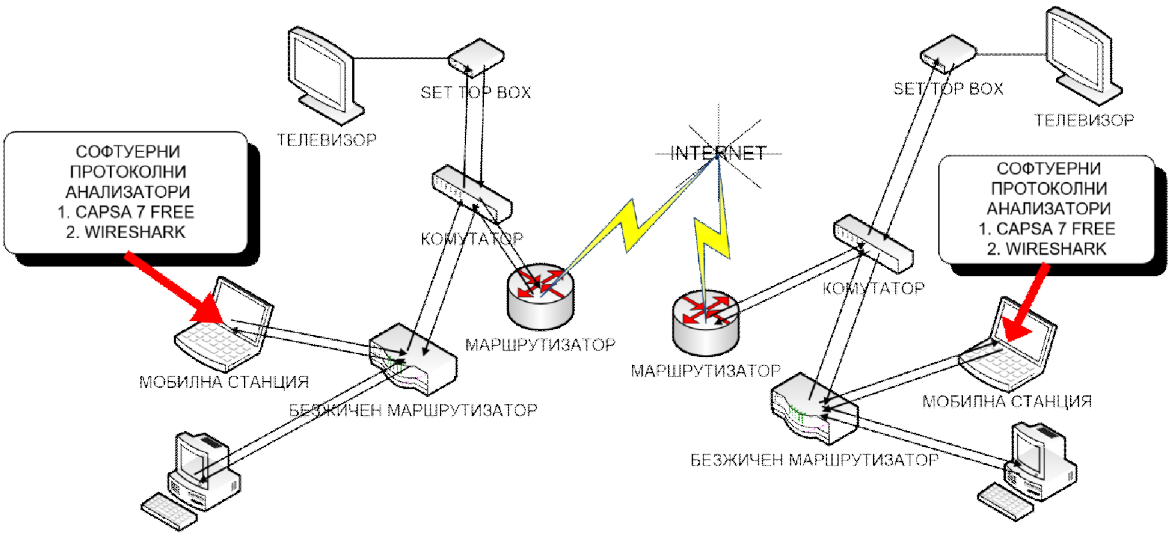


Фиг.2.9. Разпределение на пакетите по големина

При стандартизирането на VoIP технологията са водещи две организации: International Telecommunication Union –Telecommunication (ITU-T) и Internet Engineering Task Force (IETF). Те са стандартизирали много типове протоколи, които се използват за предаване на VoIP.

Експериментални измервания на VoIP трафик

Изследват се две аналогични локални мрежи (фиг.2.10), които използват услугата VoIP. Средството за гласово и визуално предаване е Skype. Те са свързани посредством Internet, предоставен от един и същ интернет доставчик.



Фиг.2.10. Структура на мрежата за изследване на VoIP трафика.

Локалните мрежи са съставени от:

- Маршрутизатор, свързващ локалните мрежи към интернет;
- Комутатор, осъществяващ разпределението на пакетите вътре в локалната мрежа;
- Безжичен маршрутизатор, свързващ двете работни станции;
- Мобилна станция (в този случай свързана посредством кабел);
- Стационарна работна станция;
- Цифров телевизионен приемник (Set Top Box);
- Телевизор, използващ услугата IPTV (Internet Protocol TeleVision).

Следенето на пакетите се извършва между двата компютъра и не включва предаването на пакетите от IPTV услугата. Въпреки това трябва да се отбележи допълнителното натоварване върху изчислителната мощ на комутатора, което се причинява при работата на телевизора.

Измерванията, които се извършат, са:

1. Наблюдаване на работата на UDP протоколите и на заеманите от тях портове;
2. Сравнение и анализ на генерирания трафик при използването на услуга за пакетно пренасяне на глас и мултимедия;

3. Наблюдение на размера на пакетите и на интервалите между моментите на постъпване на пакетите;

Чрез тези измервания и оценки се изследва работата на мрежата, нейната натовареност и възможността и за предаване на глас и мултимедия.

Направено е измерване на разпределението на размерите на пакетите (фиг.2.14). Мрежата предимно е използвана за предаване на VoIP услуги като глас и видео. Резултатите за размера на пакетите са сходни с получените от измерванията в LAN мрежи.

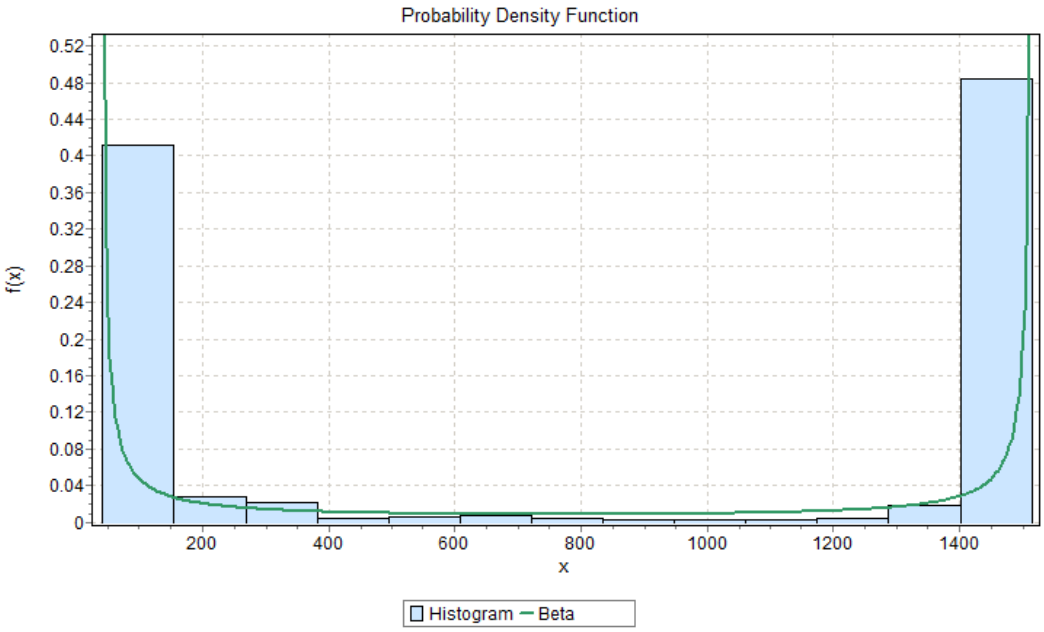
Следващият параметър, който е наблюдаван, е разпределение на интервалите между моментите на постъпване на пакети. За целта не се използва само мрежовият анализатор Capsa, а той работи паралелно с Wireshark. Това се налага поради невъзможността на тази версия на анализатора (Capsa) да следи моментните стойности на постъпване на пакетите.

Фиг.2.14. Разпределение на размерите на пакетите

Статистически анализ на резултатите от измерванията и препоръки

Програмата, с която са извършени апроксимациите, е EasyFit. Тя позволява автоматично или ръчно да се сравнят получените статистически данни с голям брой подходящи разпределения и да бъде избран най-добрият модел за секунди. Програмата може да се използва самостоятелно или с Microsoft Excel, като дава възможност за решаване на широк спектър от бизнес проблеми само с основни познания по статистика.

С програмата EasyFit е направена апроксимация на разпределението на размера на пакетите в LAN мрежа. При апроксимирането с Бета разпределението имаме следните стойности на параметрите: $\alpha = 0.07354$, $\beta = 0.05158$, минимална стойност $c = 40.008$ и максимална стойност $d = 1514.0$ (фиг.2.19). Направена е апроксимация на разпределението на размера на пакетите при предоставяне на услугата VoIP. Стойностите на коефициентите на Бета разпределението в този случай са: $\alpha = 0.28454$, $\beta = 0.27087$, минимална стойност $c = 45$ и максимална стойност $d = 1480.7$. Вижда се, че при измерванията при предоставяне на различни услуги разпределението на размера на пакетите е аналогично. Можем да заключим, че имаме двумодално разпределение на размера на предаваните пакети в мрежата.

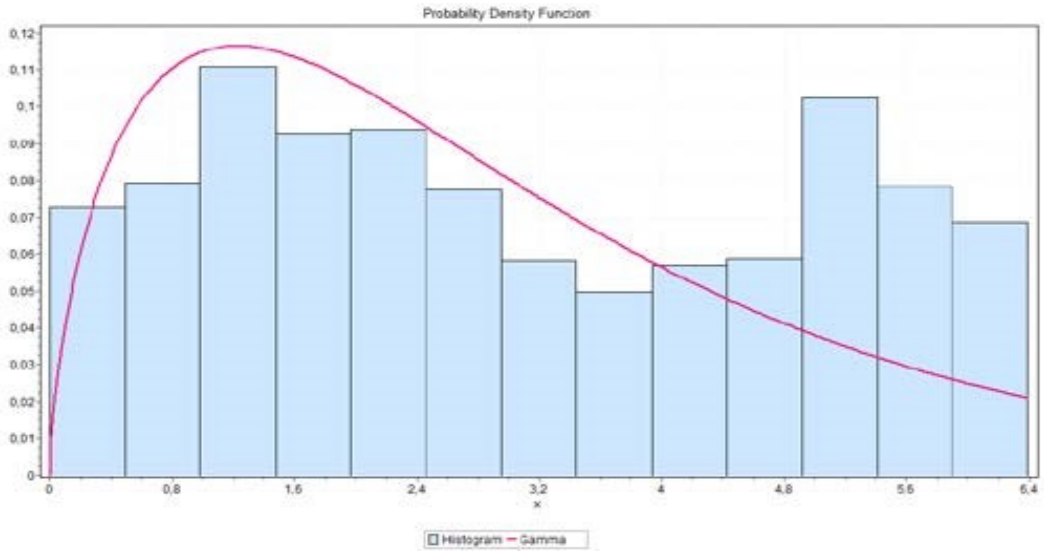


Фиг.2.19. Апроксимация с Бета разпределение на размера на пакетите в LAN мрежа

За изследване на процеса на постъпване на пакетите се използва избрана извадка от 5000 пакета от резултатите от измерванията на VoIP трафика (фиг.2.10). Направена е апроксимация с помощта на програмата EasyFit. Показано е разпределението на интервалите между моментите на постъпване на пакети (фиг.2.21). За апроксимация се използва гама разпределение, на което програмата определя най-добър ранг.

При апроксимацията е направено сравнение (автоматично от програмата EasyFit) между критериите Колмогоров-Смирнов, Андерсън-Дарлинг и Кси-квадрат, като най-добрият ранг е при Кси-квадрат. Стойностите на коефициентите на гама разпределението, определени при апроксимацията, са $\alpha = 2.6573$ и $\beta = 1.1497$.

Трябва да се отбележи, че интервалите между моментите на постъпване на пакетите (фиг.2.21) по абцисата се измерват в милисекунди. Както се вижда от апроксимацията на фигурата най-много пакети са постъпили след интервал от около 1ms. Вероятността за интервали от порядъка на 5 ms също е сравнително голяма. Сравнително малките колебания на интервалите е типично за услугите в реално време, каквато е VoIP, което показва доброто функциониране на мрежата.



Фиг.2.21. Разпределение на интервалите между моментите на постъпване на пакети и апроксимация с гама разпределение

Резултати и изводи

В тази глава е направен преглед на основните методи за измерване на трафика в Интернет, който е хетерогенен и неравномерен. Разгледани са някои от софтуерните платформи за мрежови измервания. Показана е необходимостта от измервания и мониторинг на трафика в IP базираните мрежи за оптимизация и планиране на мрежата, осигуряване на качество на обслужване и откриване на пробиви в сигурността.

Измерванията са направени в локална мрежа. Измерено е натоварването на мрежата за определен период от време с различни интервали на отчитане. Оценена е и промяната на трафика в мрежата. Направена е разбивка по протоколи на приложно ниво и разбивка по големина на пакетите. Показано е, че трафикът в мрежата е хетерогенен и силно неравномерен. Използваният протокол е основно UDP, от което може да се заключи, че мрежата се използва основно за предаване на мултимедия. Установено е, че броят на пакетите с предаваната полезна информация е приблизително равен на броя на пакетите с предаваната служебна информация.

Също така са измерени и анализирани основните параметри на трафика при използване на VoIP технологията. Обърнато е внимание, какви са основните причини за влошаване на качеството на обслужване. Направени са измервания на мрежата, като са проследени: използваемостта на портовете от определен протокол, видовете протоколи, генерираната информация, размера на пакетите и големината на интервалите между моментите на постъпване на пакетите.

Посредством програмата EasyFit са направени апроксимации, отнасящи се до оценка на разпределенията на размера на пакетите и на интервалите между моментите на постъпване на пакетите.

Показани са предимствата на реалните експерименти пред симулационното изследване. С разрастването на съвременните IP базирани мрежи, мониторингът и измерванията на трафика върху тях стават все по- необходими.

Изводи:

1. След направен сравнителен анализ на мрежовите анализатори, като са разгледани техните възможности, параметри и характеристики, се установи, че за нашите изследвания най-добър избор е Capsa. Използваният за измерванията мрежов анализатор Capsa дава възможност да се направят задълбочени изследвания на случайното поведение в IP мрежите.
2. След проведени изследвания се установи, че трафикът в изследваната от нас LAN мрежа е от мултимедиен тип – глас и видео, като основният използван протокол е UDP, а също така се установи, че трафичното натоварване е неравномерно.
3. Показано е, че трафикът в локалната мрежа е хетерогенен и притежава и свойството себеподобие.
4. Измерени са и са оценени основните параметри на трафика при използване на VoIP технологията и е показано, че трафикът има аналогични характеристики.
5. Измерванията в мрежата при предоставяне на различни услуги показаха, че броят на пакетите в локалната мрежа с предавана полезна информация е приблизително равен на броя на пакетите с предавана служебна информация.
6. Направени са апроксимации на данните от измерванията на мрежата и са показани най-добрите апроксимации на разпределението на размера на пакетите и на интервалите между моментите на постъпване, съответно с гама и с бета разпределение.

Глава 3. Анализ на качеството на обслужване в IP базирани мрежи

Развитието на телекомуникационните мрежи е свързано с гарантиране на качеството на обслужване на предоставените услуги. Редица автори на базата на измерени трафични данни посочват, че няма подходящи методи за анализ на съвременните мрежи. Трафичните потоци в съвременните широколентови мрежи имат следните характеристики: самоподобие, дълговременна зависимост, неравномерност, наличие на

големи интервали между моментите на постъпване на пакетите и на големи размери на пакетите. Има много статии, анализиращи трафика в Интернет, които показват неговата неравномерност в различни мащаби на времето.

Предаването на говор през интернет мрежата с пакетна комутация (VoIP) е една от атрактивните услуги в реално време. Тя поставя строги изисквания при доставката на пакетите, съдържащи говор.

Оценка на качеството на обслужване при предоставяне на услугата VoIP

IP телефонията (Voice over Internet Protocol – VoIP) е една от атрактивните услуги в съвременните телекомуникационни мрежи. Тя изисква строги нива на качеството на обслужване и доставка на пакетите с говор в реално време. Качеството на обслужване (QoS) при VoIP услугите зависи от много фактори като: широчина на честотната лента (bandwidth), закъснение в една посока (one way delay), колебания на закъсненията (джитер) (jitter), процент на загуба на пакетите (packet loss rate), тип на кодека и др., но при една добре изградена мрежа тези фактори имат определени стойности, при които се предоставят качествени услуги и удовлетвореността на абоната е висока.

Симулационно моделиране на VoIP услуга

Софтуерните симулации се използват все по-успешно и надеждно. Много от предлаганите протоколи и хардуерни решения се тестват предварително в софтуерна среда преди да бъдат реализирани. Няколко са предимствата при използването на програмна система за симулация: по-малко време за развойна дейност на новия хардуер; възможност за експериментиране при различни сценарии на съчетанието хардуер-софтуер; понижаване на разходите; установяване на евентуални проблеми в хардуера и в софтуера преди действителното им изграждане.

В тази глава се използва симулационната програма OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.A.

Изследване на VOIP мрежа чрез симулиране на сценарий

Разглежданият сценарий представя две отдалечени локални мрежи, свързани посредством интернет. Оценяват се различните начина за кодиране и различните дисциплини на обслужване на опашките. Тази топология пресъздава архитектурата на телекомуникационната мрежа на една компания, която има клонове в различни страни. Заедно с приложенията за разговорни услуги се поддържат и други, които правят мрежата по-сложна. За да се постигне максимална реалистичност на постановката, към мрежата се добавят и следните услуги: HTTP, Email, FTP и Database access.

Основната задача е да се изследват различните техники за кодиране на говора и различните дисциплини на обслужване на опашките и да се покаже как те влияят върху качеството на обслужване. Приложените кодеци са G.711, G.723, G729.

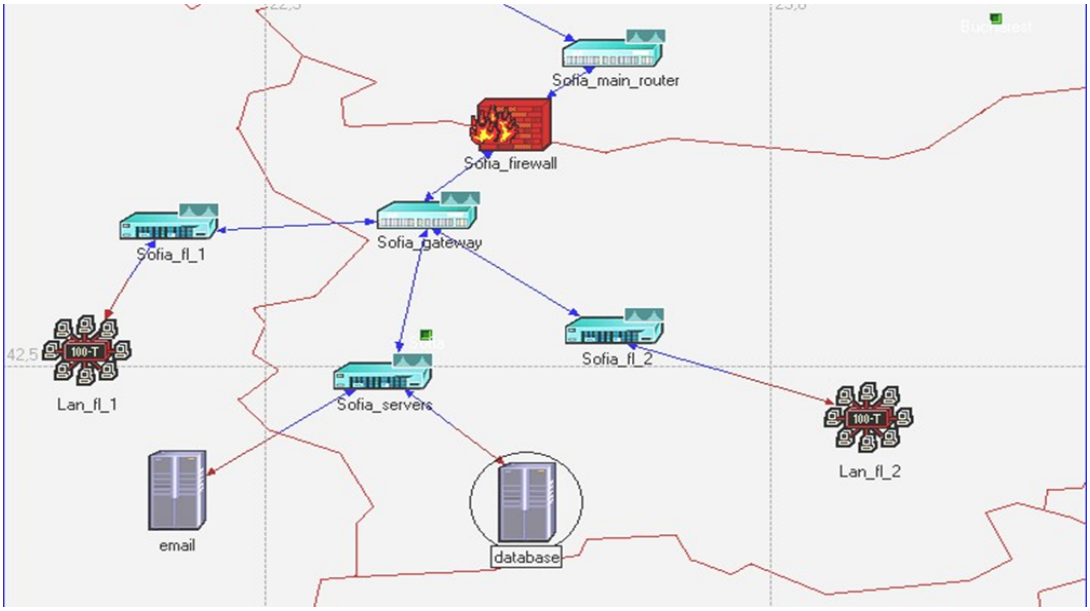
G.711 се използва по подразбиране от всички производители, както при VoIP оборудване, така и в телефонната мрежа. Този стандарт не прилага вариант при предаване на глас във WAN среда. След прилагане на компресиращия алгоритъм един разговор, кодиран с G.729, заема поток от 8 Kbps, като качеството на говора е незначително по-ниско от това на G.711. G.723 е стандарт, препоръчван при необходимост от голяма компресия на данните. Потокът заеман при предаване, кодирано с G.723, е 6.3 или 5.3Kbps. Тъй като качеството на говора е значително по-ниско спрямо това на G.729, въпреки необходимата по-малка честотна лента, този кодек не се използва често.

Дисциплините на обслужване на опашките: първи на входа първи на изхода (FIFO - First-In First-Out), приоритетно обслужване (PQ - Priority Queuing) и обслужване с равноправно разпределение на теглото (WFQ - Weighted Fair Queueing) се използват при различните кодеци.

Със симулиране се показва влиянието на различните кодеци и дисциплини на обслужване върху натоварването на мрежа, която поддържа и пренос на говор.

Представена е структурата на мрежата за разглеждания сценарий. Офис София (фиг.3.3) и Офис Ню Йорк са двата клона на компанията. Потребителите и от двата клона

комуникират помежду си. Всяка една работна станция поддържа FTP, Database access, сърфиране в мрежата, електронна поща, а също така и VoIP. Всеки един от офисите, респективно в София и Ню Йорк, разполагат с два етажа, като на всеки етаж има разположени по 5 работни места. В офиса в София са разположени сървърите за електронната поща и базата с данни, а в Ню Йорк тези за http връзки и за трансфера на данни. Имаме три използвани комутатора, за двата етажа и един за сървърите. Моделът на комутаторите, използвани за представената топология, са CISCO от серия 4000. Маршрутизаторите са също CISCO от серия 3640. Връзките навсякъде са 100 base T, като само връзките между главните маршрутизатори към интернет са с уплътнени по време линии (Digital Signal 1 - DS1. За конфигуриране на процесите в мрежата и за предоставянето на различни приложения се използват три възела.

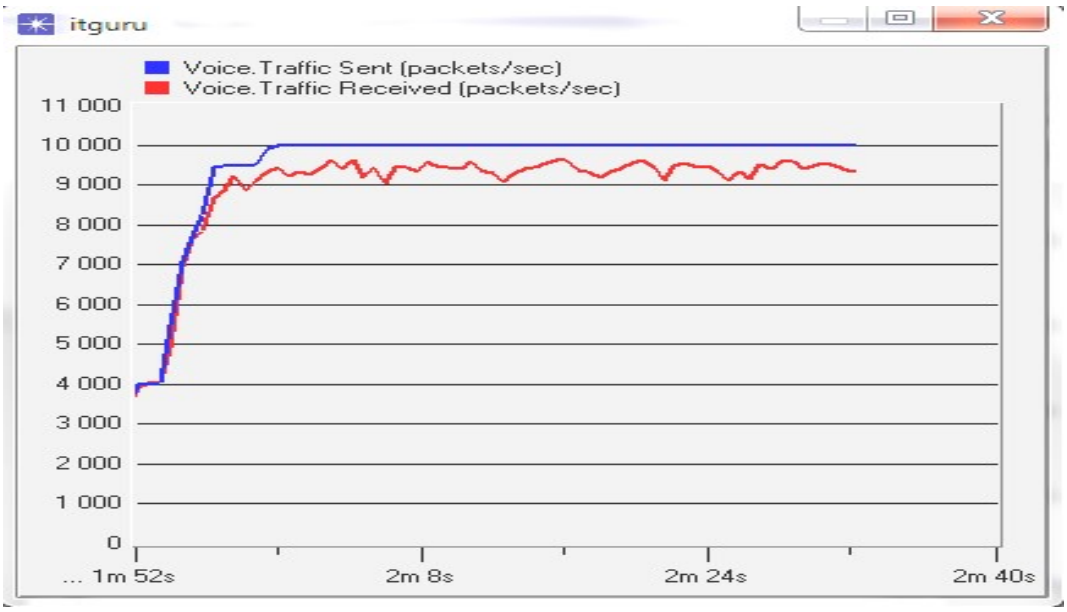


Фиг.3.3. Офис София

Симулационни изследвания, резултати и анализ

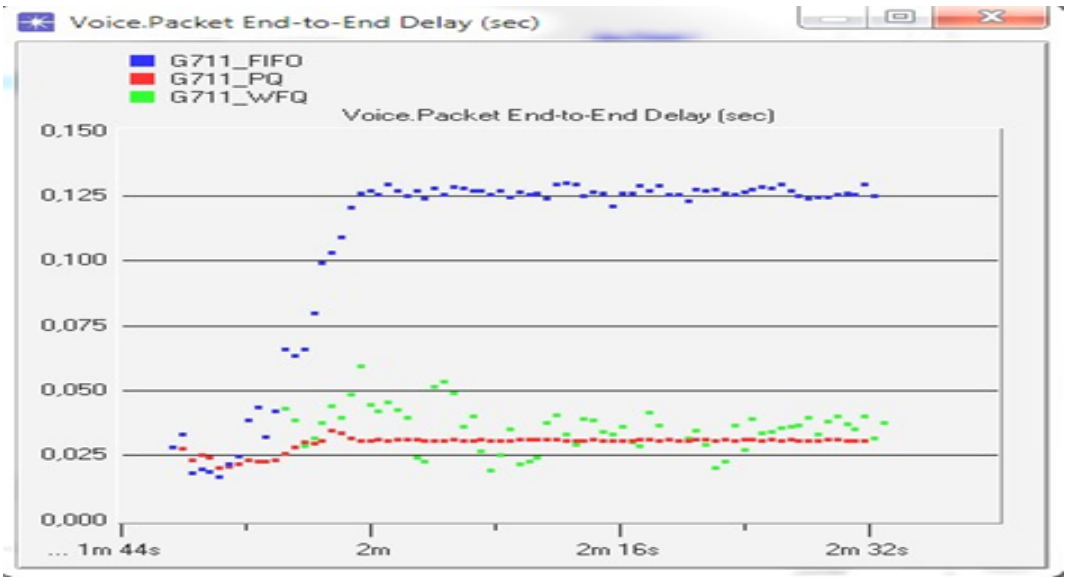
1. Изпратени и получени разговорни пакети. На фиг.3.4 е представена интензивността на предаване и на приемане на пакети. Колкото по-близки са изпратените и получените стойности, толкова по-ефикасна е една мрежа. При формиране на опашката се използват различни методи на обслужване като - FIFO, PQ, WFQ и съответно различни кодеци като G.711, G.723, G.729.

Загубените пакети не трябва да надвишават няколко процента. При FIFO опашките виждаме, че имаме дори спадове от загуба на 1000 пакета от изпратени 10000, което може да доведе до значително влошаване на качеството на разговора. Най–ефикасен е PQ методът, като при него почти няма загубени пакети или загубите са под 5 %. Най-добри резултати се наблюдават с G.711 и G.723 и приоритетно обслужване на опашката. Анализът показва, че качеството на обслужване в мрежата е добро. Тъй като мрежата е проектирана основно за предаване на говор, при PQ имаме най-задоволителни резултати, когато разговорните пакети се предават с приоритет. При WFQ по-бързо се обслужват опашките, които имат по-малък размер. В резултат разговорните пакети се обработват равноправно с останалите. За всяка една опашка се отделя еднаква честотна лента, независимо от големината ѝ. Това е причината в нашия случай WFQ да не е толкова ефективна.



Фиг.3.4. Изпратени и получени пакети G.711– FIFO

2. Закъснението от край до край е интервалът от време, за който пакетът достига до своя получател. Ето защо колкото по-малка е тази стойност, толкова по-ефикасна е мрежата. За мрежа, която предава гласови данни, то не трябва да надвишава 150 ms. На фиг.3.9 и 3.10 е показано закъснението, при различни схеми на кодиране на говора и различни дисциплини на обслужване на опашките. От тях се вижда, че при нито един от случаите нямаме по-висока стойност от препоръчителната. Най-добри резултати се наблюдават при формиране на опашките с приоритети, където стойностите са пренебрежимо малки. За да определим най-добрата комбинация от начина на генериране на трафичните потоци и схема за кодиране на глас, сравняваме различните начини на формиране на опашки, които са дали най-добри резултати. В нашия случай това е PQ.

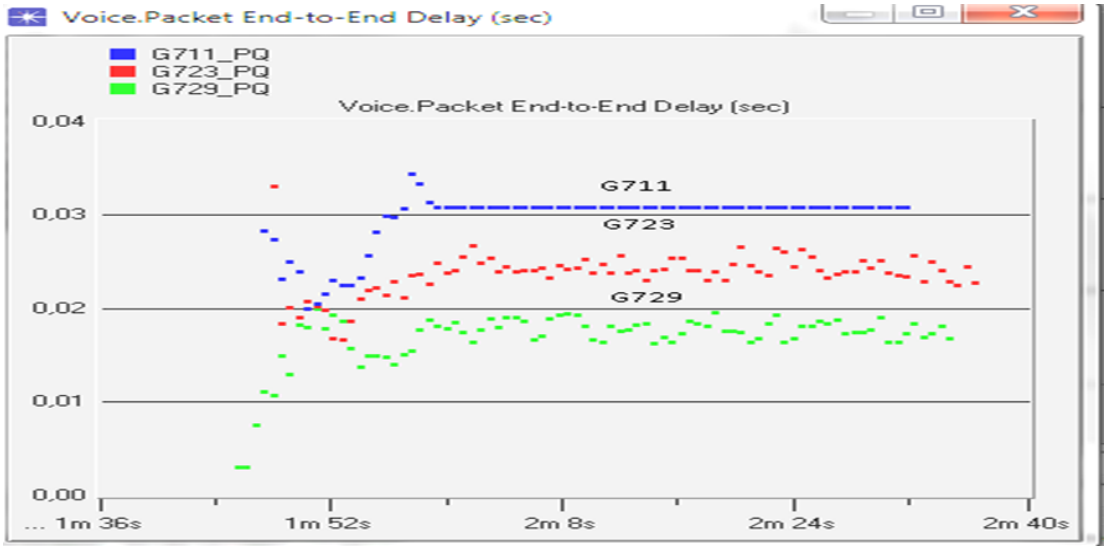


Фиг.3.9. Закъснение от край до край G.711

От фигурите може да се види, че най-задоволителни резултати имаме при G.711. Трябва да отбележим също, че в нашата мрежа не се наблюдава закъснението, причинено от Медия шлюз и Медия шлюз контролер. Закъснението от тези източници, също трябва да се има предвид, като то може да достигне до 53 ms.

3. Джитер. По аналогичен начин са показани графично колебанията на закъсненията (джитера) в изследвания сценарий. За да бъде подобрено QoS, не може да се прибегне до

скъпи методи, като скъпо оборудване. Трябва да бъде запазена основната идея на IP телефонията, а именно да е една от най-евтините технологии за комуникация. Мрежовите инженери трябва да намерят интелигентни начини за подобряването на QoS. Поради тази причина има различни методи за изследване на поставените проблеми. Една от възможностите е да се направи симулация на проектираната мрежа и да се оценят възможните етапи за подобряването на предоставената услуга.



Фиг.3.10. Закъснение от край до край – G.711, G723,G729 – опашки с приоритети

За бъдеща работа по темата могат да се оценят различни топологии, да се симулират реални мрежи и да се направят тестове за качеството, което се предоставя. Интерес представлява и предоставянето на услугата VoIP през безжични мрежи.

Анализ на IP базирани мрежи чрез телетрафичната система Pareto/MM/1/k

При планирането на телекомуникационните мрежи обикновено се приема допускането за експоненциално разпределение. Най-често се работи с поасонов поток на постъпване на повикванията или сериите и с експоненциално разпределена продължителност на заеманията. Съвременните телекомуникационни мрежи и приложения генерират неравномерни трафични потоци.

Разпределението на Парето дава възможност сравнително лесно да се генерират неравномерни трафични потоци, на които може да се променя неравномерността в широки граници. Чрез него може да се симулират случайните процеси в реалните IP мрежи.

Разпределението на Парето, наречено така в чест на италианския икономист Vilfredo Pareto, е вероятностно показателно разпределение, с което се описват много случайни процеси в обществения живот, науката, геофизиката, статистиката и много други. Специфичната форма на обобщеното разпределение на Парето (Generalized Pareto Distributions -GPD) има следната функция на разпределение

$$F(t) = 1 - \left[1 + \frac{\lambda \beta t}{1+\beta}\right]^{-1/\beta - 2} . \qquad (3.6)$$

При тази форма получаваме следните математическо очакване и дисперсия

$$M_p = \frac{1}{\lambda}, \qquad D_p = \frac{1+2\beta}{\lambda^2}. \qquad (3.7)$$

За нашето изследване математическото очакване е средната продължителност на интервалите между моментите на постъпване на повикванията. Параметърът λ е

интензивността на постъпване на повикванията. За всички положителни стойности на параметрите λ и β математическото очакване и дисперсията имат крайни стойности.

Коефициентът на вариации, който се дефинира чрез отношението на средно квадратичното отклонение към математическото очакване, е равен на

$$c^2 = \frac{\sqrt{D_p}}{M_p} = \sqrt{1+2\beta}\,. \tag{3.8}$$

Вижда се, че коефициентът на вариации зависи само от единия параметър на разпределението на Парето. Следователно може да се променя само неравномерността на трафика, без да се променя неговата стойност (математическото очакване).

Генериране на случайни числа с разпределение на Парето

За генериране на случайни числа с обобщено разпределение на Парето може да се използва методът на обратната функция. От псевдослучайните равномерно разпределени числа U в интервала (0,1) се получават случайните числа x с обобщено разпределение на Парето в интервала (0,∞) чрез следната формула

$$x = \frac{(1+\beta)\left(U^{-\frac{\beta}{1+2\beta}} - 1\right)}{\lambda\ \beta}\,. \tag{3.10}$$

Симулационен модел на системата Pareto/MM/1/k

Изследваната едноканална телетрафична система Pareto/MM/1/k е с неравномерен входящ поток със средна интензивност на постъпване λ и с коефициент на вариации на входящия поток c^2. Дължината на пакетите се описва с мултимодално разпределение в интервала от m_1 до m_2. Системата е с ограничена опашка с k места за чакане. Ние ще работим предимно с тримодално разпределение като b_1 е вероятността пакета да е с минимална дължина m_1 байта, b_2 е вероятността пакета да е с максимална дължина m_2 байта и b_3 е вероятността пакета да е с дължина m_3 байта ($m_1 < m_3 < m_2$), а всички останали вероятности в интервала са равни на нула. Средната продължителност на пакетите в байтове е

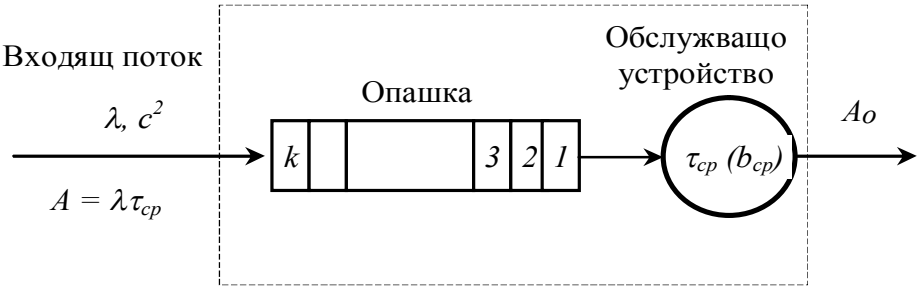
$$b_{cp} = b_1 m_1 + b_2 m_2 + b_3 m_3\,. \tag{3.11}$$

При дефинирана скорост на обслужване средното време за предаване на един пакет е τ_{cp}, което зависи от b_{cp}.

Тази система с неравномерен входящ поток, описан с обобщено разпределение на Парето, и с типично за Интернет мрежата тримодално разпределена продължителност на заеманията се описва с процес на възстановяване (фиг.3.13). Приемаме, че дисциплината на обслужване на опашката е „първи – постъпил, първи – обслужен” (FCFS- First-come, first-served).

Разпределението на Парето притежава свойствата дълговременна зависимост и себеподобие и се използва за описание на неравномерните потоци в мрежите с пакетна комутация. Аналитичното изследване на системата Pareto/MM/1/k е много трудно и в много случаи не може да се приложи. В тези случаи може да се използва симулиране. Моделирането на разпределения с дълговременна зависимост е трудно, защото генерираните големи стойности на величините са с малки вероятности за поява и оказват съществено влияние на характеристиките на телетрафичната система. За да се получат точни стойности, е необходимо да се генерират изключително голям брой събития. За оценка на точността може да се използва сравнение с известни резултати от по-прости модели, получени с аналитични методи. За нашия случай такива телетрафични системи са M/M/1/k и M/G/1.

За изследването е разработен алгоритъм и е написана имитационна програма за симулиране в реално време на системата Pareto/MM/1/k за оценка на вероятностите на състоянията, на вероятността за загуби и на средното време за чакане.



Фиг.3.13. Модел на телетрафичната система Pareto/MM/1/k

За оценка на вероятностите на състоянията при постъпване на всяко повикване се определя състоянието на системата и се запомня. За оценка на точността на резултатите за вероятността за загуби и за средното време за чакане се използва интервалното моделиране. Правят се 20 имитационни опита като във всеки се генерират по 20000 повиквания. Въведен е начален интервал и интервали между оценките, през които не се събират статистически данни, за да се премахне влиянието на преходния интервал и да се получат независими оценки с t – разпределение на Стюдент. За изчисляване на доверителния интервал избираме доверителна вероятност 95%. Тази организация позволява да се получи висока точност от практическа гледна точка.

Резултати от симулационната програма.

С разработената симулационна програма на Паскал за персонален компютър са получени числени характеристики при различни стойности на параметрите, които са представени графично.

На фиг.3.15 е дадена зависимостта на вероятността за загуби по повиквания от постъпващия трафик при различен коефициент на вариации на интервалите между постъпванията чрез разпределението на Парето и мултимодално разпределение на размера на пакетите. Резултатите показват, че по-голямата дисперсия може да увеличи с няколко порядъка вероятността за загуби особено при малък трафик.

На фиг.3.16 е показана зависимостта на средното време за чакане в опашката от постъпващия трафик при различен коефициент на вариации. На фигурата е дадена за сравнение и зависимостта на средното време за чакане за системата M/G/1 с безкрайна опашка и за системата M/M/1/к с експоненциална продължителност на заеманията. Вижда се, че неравномерността на входящия поток води до значително увеличение на средното време за чакане.

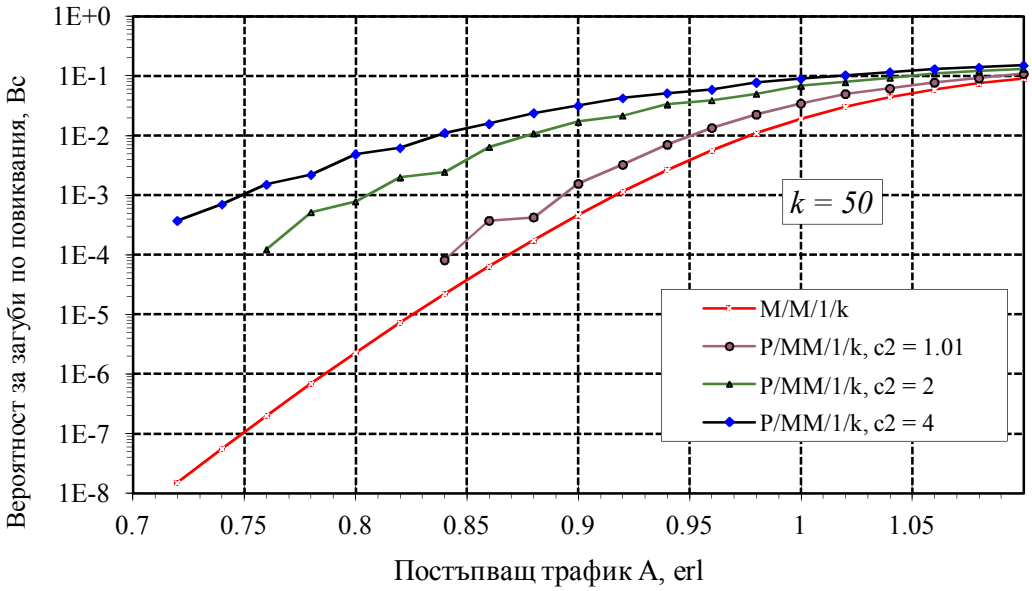
Показаните графични резултати показват, че дълговременната зависимост на входящия поток увеличава значително загубите и закъсненията.

Компютърното симулиране на телетрафични системи с разпределение на Парето е свързано с трудности поради дълговременните зависимости. Това означава, че е възможно да се появят интервали с много голяма дължина, които оказват съществено влияние на статистическите параметри. Вероятността за тяхната поява е много малка, което означава, че е необходимо значително симулационно време, за да се получат точни резултати.

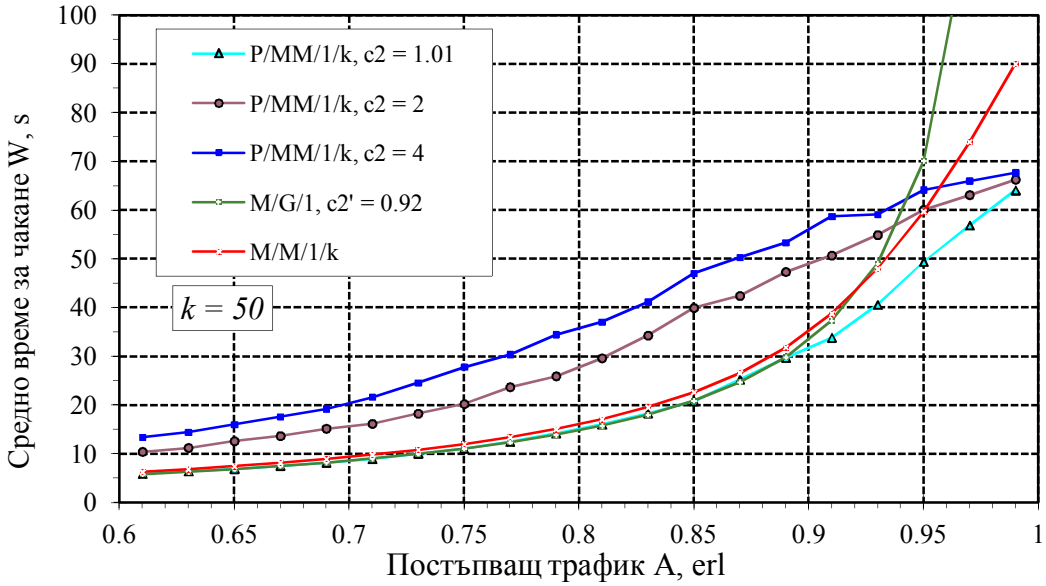
Резултати и изводи

В тази глава са описани накратко архитектурата и принципа на работа на VoIP мрежите, методите за оценка на качеството на обслужване при предоставяне на услугата VoIP, различните алгоритми за кодиране на говора и различните начини за управление на трафичните потоци. Разгледани са едни от най-често използваните техники за кодиране на говора (G.711, G.723, G729) и са оценени различните дисциплини на обслужване на опашките. Симулирана е мрежа, предоставяща VoIP услуги, проведени са експерименти,

оценено е качеството на обслужване и са дадени препоръки за подобряване на предлаганата услуга. Качеството на обслужване при VoIP мрежите е оценено чрез изграждане на подходящ сценарий, който се симулира чрез OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.A.



Фиг.3.15. Вероятности за загуби по повиквания на системата Pareto/MM/1/k



Фиг.3.16. Средно време за чакане на системата Pareto/MM/1/k

Проектираната мрежова топология е подходяща за свързаност през Интернет на два отдалечени офиса. Направени са симулации с различни кодеци при различни дисциплини на обслужване на опашките. Получените резултати са представени в графичен вид и е направена оценка на QoS на мрежата. Според направените изследвания най-добрата дисциплина на обслужване на опашките при предаване на говор е приоритетното обслужване. При нея се наблюдават най-малък брой загубени пакети, най–ниски стойности на джитера и на закъснението от край до край. Кодекът G.711 е с най-добри стойности на параметрите на QoS.

В главата се използва обобщено разпределение на Парето за генериране на входящия поток от заявки за обслужване и тримодално разпределение за симулиране на размера на пакетите. Предложен е симулационен модел в реално време за оценка на стационарните вероятности на състоянията, вероятностите за загуби и закъсненията на системата Pareto/MM/1/k и резултатите са сравнени със системата M/M/1/k и M/G/1. Базовият

симулационен модел на телетрафичната система е описан подробно. Разработеният симулационен модел предоставя възможност да се моделират случайните процеси в съвременните телекомуникационни мрежи с пакетна комутация, включително и Интернет. Проведените експерименти и числените резултати показват, че този модел е точен и полезен за телетрафичен анализ.

Изводи:

1. След направена оценка и анализ на възможностите, характеристиките и параметрите на различни системи за симулиране е избран програмният продукт OPNET IT Guru. Той дава възможност чрез симулации да се изследват детайлно различните дисциплини на обслужване и да се оцени качеството на обслужване при предоставяне на VoIP услуги;

2. Получените резултати и направените препоръки от тези изследвания могат да се използват при проектиране на VoIP мрежи.

3. Обобщеното разпределение на Парето е подходящо за генериране на неравномерни входящи потоци при симулационно изследване на буферирането в IP базирани мрежи.

4. Проведените експерименти и числените резултати показват, че разработеният симулационен модел на едноканалната телетрафична система с неравномерен входящ поток Pareto/MM/1/k е бърз, неговата точност лесно може да се оцени и, че той е полезен за телетрафичен анализ.

5. За оценка на точността на резултатите за вероятността за загуби и за средното време за чакане се използва интервалното моделиране. Показаните на графиките резултати имат относителна точност по-малка от 10%.

6. Дълговременната зависимост на разпределението на Парето води до значително нарастване на загубите и на закъсненията в мрежите с пакетна комутация. Сравненията с експоненциалното разпределение на заеманията показват, че използването на простите телетрафични модели води до сериозно надценяване на характеристиките. Получените чрез симулиране резултати са в съответствие с аналитичните резултати на други автори.

7. Разработеният симулационен модел може да се използва за изследване на телетрафични системи с други разпределения. Този модел ще помогне да се анализират проблемите със загубите и закъсненията в Интернет мрежите. В бъдеще ще разработваме симулационни модели на широк клас от телетрафични системи.

Глава 4. Планиране и симулиране на IP базирани телекомуникационни мрежи

Съвременните IP базирани широколентови мрежи използват различни технологии и протоколи и предоставят изключително голям брой услуги с високо качество на обслужване, надеждност и сигурност. Всичко това поставя нови проблеми и изключително трудни задачи при планирането на мрежите. За да се планират и изграждат ефективни телекомуникационни мрежи, гарантиращи качеството на предоставяните услуги, е необходима значителна експериментална и изследователска работа. Планирането и оптимизирането на съвременните телекомуникационни мрежи е свързано с телетрафичното инженерство. Една от важните задачи при планирането е свързана с гарантирането на качеството на обслужване, което води до интензивна изследователска и публикационна дейност в тази област. Въпреки това, поради голямото многообразие от предоставяни услуги, разработени технологии, използвани алгоритми на обслужване и управление, поради сложността на протичащите случайни процеси все още има редица нерешени задачи.

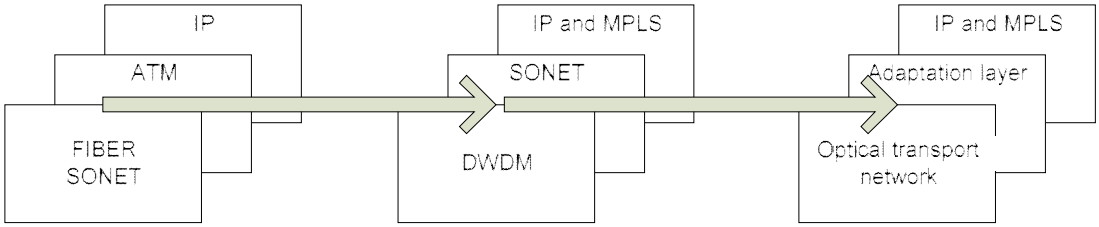
Методи при планиране на MPLS мрежи

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. Трябва да се анализират механизмите за диференцирането на

услугите, за да се осигури пренасяне на информация за различни приложения с различно качество на обслужване (QoS). Анализирането на различни архитектурни насоки и стратегии за проектиране на MPLS мрежи също е от съществено значение. Важно е да се оцени влиянието на комутацията на базата на етикети върху работата на мрежата. От съществено значение е да се отговори кои са задължителните компоненти при планирането, с които моделът трябва да разполага. Трябва да се даде отговор и на проблемите, свързани с използването на матрицата на трафика при планирането.

Моделът на наслагване е техника, която се прилага, преди MPLS, за да се заобикалят 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 – (Asynchronous Transfer Mode - ATM)) в IP инфраструктура в конфигурация с наслагване. Технологията с виртуални канали служи за осъществяване връзка от точка до точка между IP маршрутизаторите. Мрежите постоянно търпят промени и развитие (фиг.4.1), 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.4.1. 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. 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.

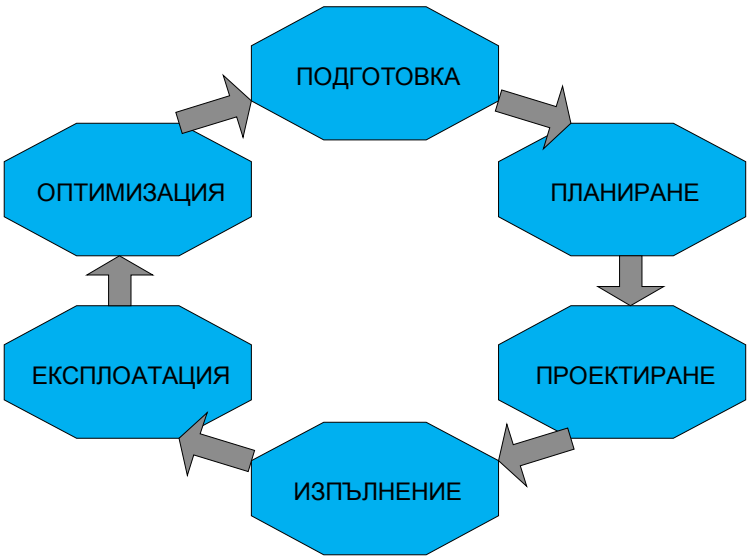
Методология на проектирането

За да се проектира една мрежа, трябва да се определят: 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, е показан на фиг.4.3.

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:

• *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.



Фиг.4.3. Проектиране, базирано на жизнения цикъл на мрежата

• *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 характеризиране 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 да 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.

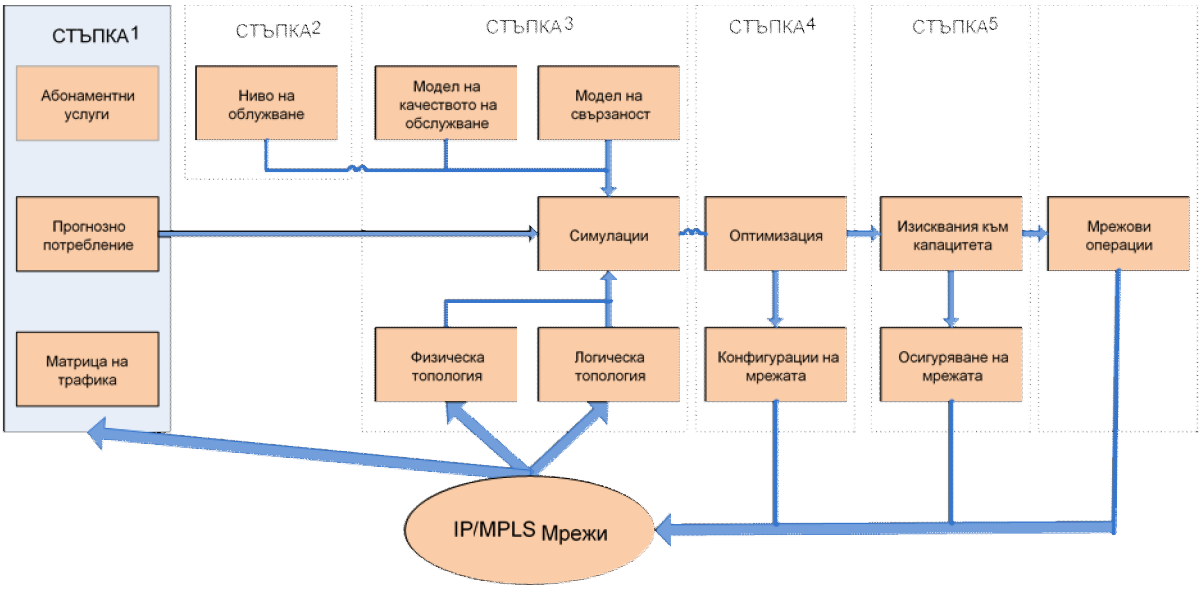
• *Изпълнение:* След одобряването на проекта започва неговото изпълнение (и проверка). Изгражда се цялата мрежа или се добавят към съществуващата мрежа допълнителни компоненти според спецификациите на проекта, с цел интегриране на нови устройства, без нарушаване на работата на мрежата и без създаване 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 мониторингът 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 предвидят достатъчни ресурси за предоставяне на услугите, за да се удовлетворят изискванията от споразумението за нивото на обслужване (Service-Level Agreement - SLA) при минимална цена.

Методологията за проектиране, базирана на жизнения цикъл, се състои от следните стъпки (фиг.4.4.):



Фиг.4.4. 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 характеризиране 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 характеризирането 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 работният 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 и варианти: при различни технологии и различно оборудване и подходи: тактически, стратегически. Анализира се връзката между SLAs и целите на планиране на мрежата;
- *Стъпка 5.* Анализ на характеристиките на мрежата. Оценка на капацитета на мрежата и осигуряване на различните изисквания. След цикличния процес на планиране мрежата се пуска в експлоатация.

Симулиране на облачни мрежи

Облачните услуги се дефинират като споделено обединение от компютърни и изчислителни услуги при поискване, които са достъпни през глобалната мрежа Интернет. Тяхното конфигуриране е динамично, за да се постигне колкото се може по-добра ефективност на тяхната работа.

Облакът предлага на потребителите лесен и удобен достъп до изчислителни ресурси, състоящи се от мрежови сървъри, места за съхранение на данни, и софтуерни приложения.

Софтуерните приложения са настроени спрямо желанията на потребителите или според търсенето.Те са реализирани на платформата „плати при използване (pay – per use). В основата си облачните комуникации представляват способ, чрез който информационните услуги са предоставени на потребителите, без те да закупуват, инсталират или поддържат сложно оборудване и софтуер. Тези споделени средства са достъпни за отделния потребител чрез Интернет, използвайки най-съвременните телекомуникационни технологии.

Преглед на инструменти за моделиране и симулиране на облачни системи

Симулациите и моделирането се използват при проектирането и предварителното тестване на различни устройства, системи и мрежи. Тези симулационни инструменти и среди могат да се използват и при тестването на облачните услуги. Експериментирането в реална облачна среда има следните проблеми:

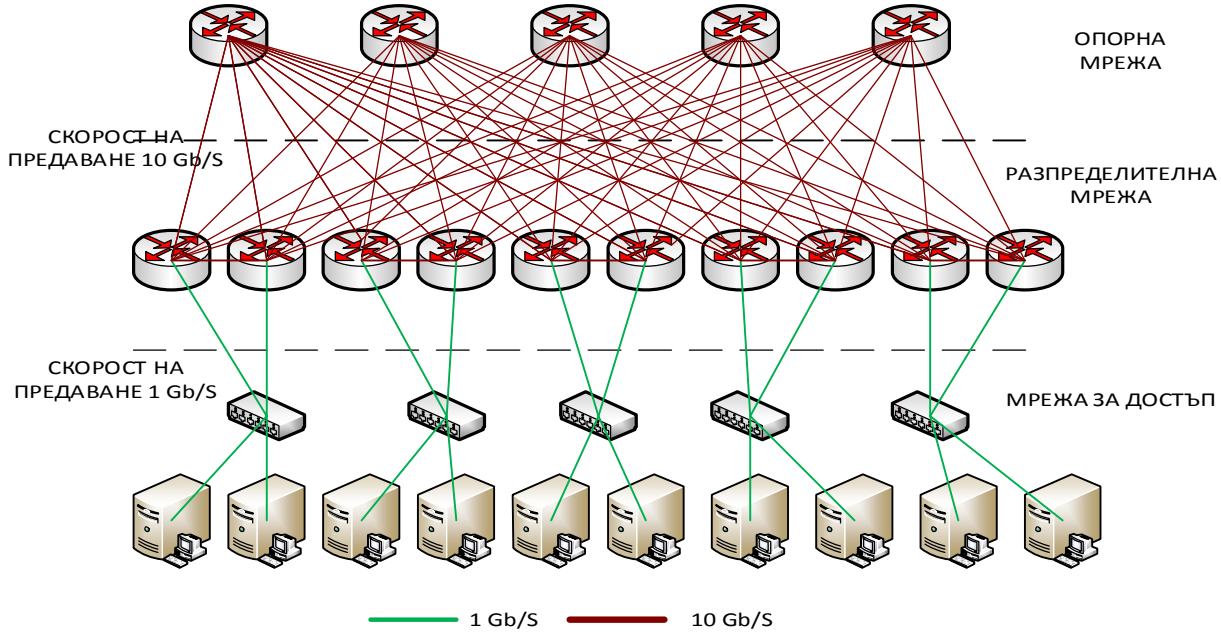
- Скъпо е, тъй като е необходимо заемането на много голям брой ресурси за дълъг период от време;
- Повторенията на експериментите са невъзможни;
- Средата, предлагана от доставчика, може да не поддържа развиващи се приложения.

Поради тези причини симулирането е избрано като алтернативна среда, в която разработчиците могат да експериментират, без да се взимат предвид по-горните недостатъци. Съществуват различни инструменти за симулиране и моделиране на облачни среди. Част от тях са комерсиални, други са предназначени за свободно ползване.

Симулационни резултати

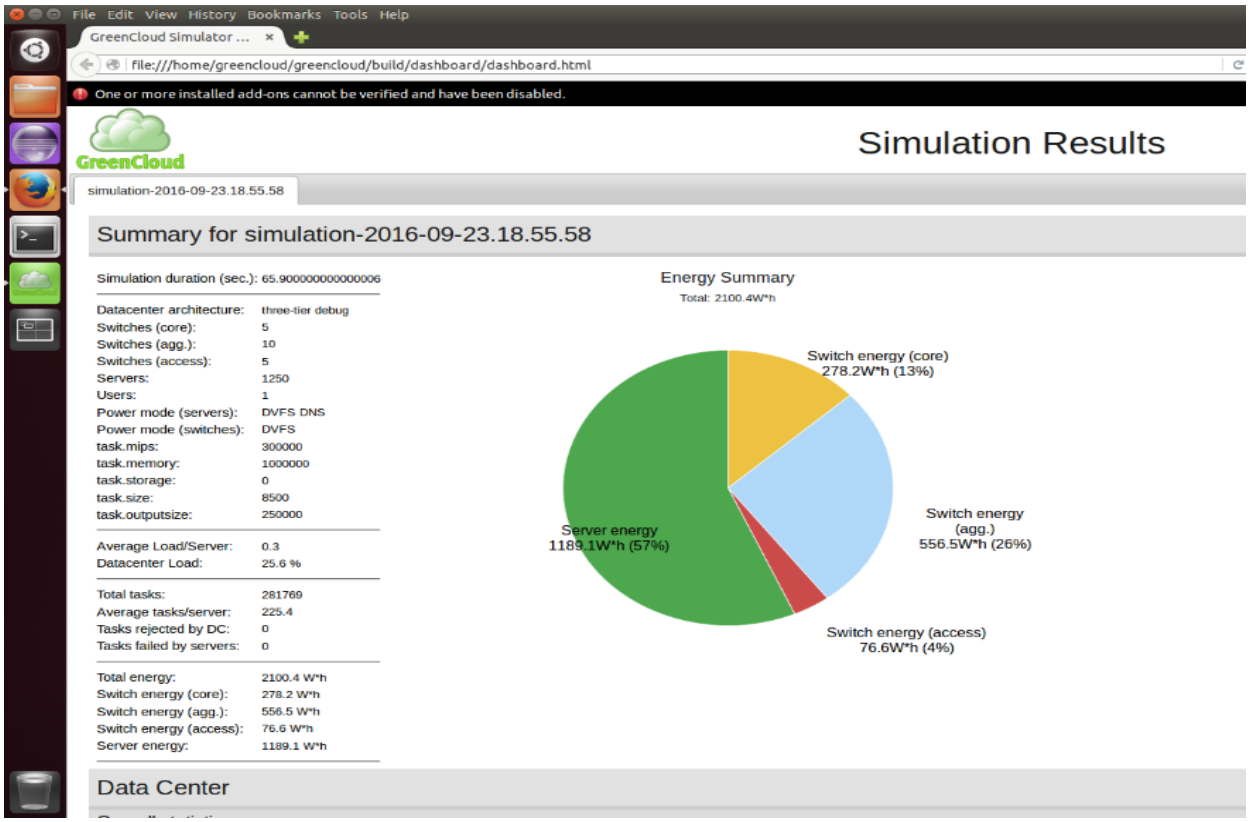
След направения преглед на различните инструменти за симулация в облачните системи е избран симулаторът GreenCloud. Той е предпочетен заради наличието на графичен интерфейс, който спомага за използването на програмата от по-голям кръг експерти и потребители, без строго специализирани знания. Докато при CloudSim и OCT, които нямат такъв графичен интерфейс, се изискват по-задълбочени познания в някои области и най-вече задълбочени програмни умения на JAVA. Втората причина за избора е достъпността. Другите два симулатора не са толкова лесно достъпни и трудно могат да се намерят, без да се заплащат такси и лицензи, дори да се използват за обучение и научни разработки. Третата причина е, че GreenCloud освен възможността за „стандартните" симулации в облака дава информация и за енергийната ефективност на цялата система, на което се обръща голямо внимание в 21 век.

Експерименталните симулации ще се извършат в облак със следната топология, състояща се от 3 слоя – access network (мрежа за достъп), aggregation network (мрежа за разпределение), core network (опорна мрежа). Това е типичният модел, който се използва за създаване на облачни комуникации с център за данни с голям капацитет, включващ десетки хиляди сървъри. Той се препоръчва и се ползва от компании като Cisco system, които работят главно с тази утвърдена и доказала се топология. Опорната мрежа е съставена от 5 комутатора. Мрежата за разпределение е съставена от 10 комутатора, а в мрежата за достъп се използват само 5 комутатора при симулацията. Общият брой сървъри в така създадената система са 1250. Структурата на симулираната мрежа е представена на фиг.4.12. Симулирането на облака ще се извърши при малко натоварване, като целта е да се оцени главно неговата работоспособност.



Фиг.4.12. Структура на симулираната трислойна мрежа (Three-tier debug)

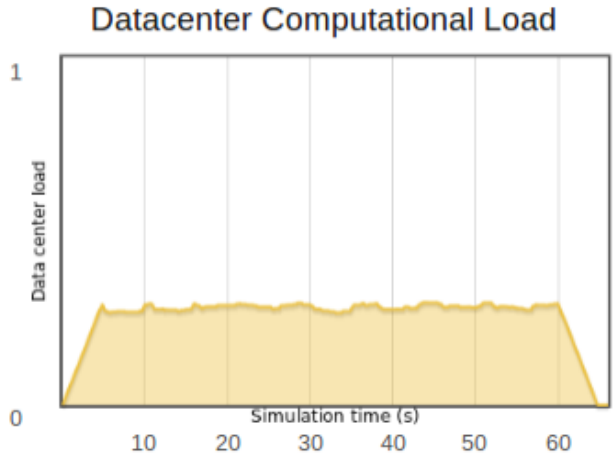
На фигура 4.13. са показани параметрите на системата, както и консумираната енергия от определения по-горе брой устройства, необходими да обработят задачите. Според консумираната енергия за по едно устройство от всеки слой се вижда, че тя е най-голяма за сървърите 1189.1 W*h, след това за мрежата за разпределение - 556.5 W*h, почти два пъти повече от тази на горното ниво (опорна мрежа). Задачите, подадени за обработка, са малко над 281709.



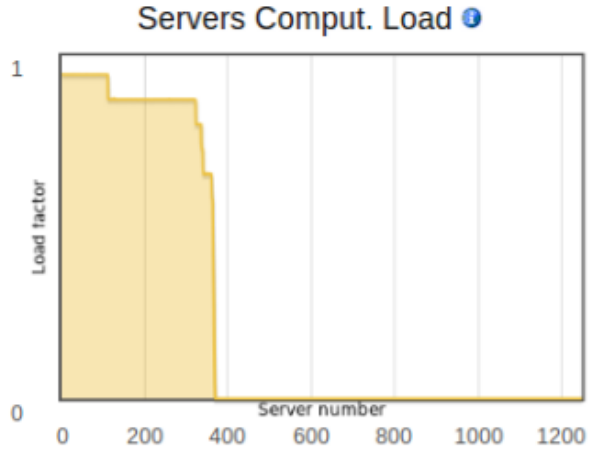
Фиг.4.13. Консумирана енергия и параметри на облачната система

На фигура 4.14.е представен трафикът, показващ натоварването на центъра за данни. На фигура 4.15. е показано средното натоварване на процесорите на различните сървъри от симулирания облак. На фигура 4.16. се наблюдава броят на изпълнените задачи от

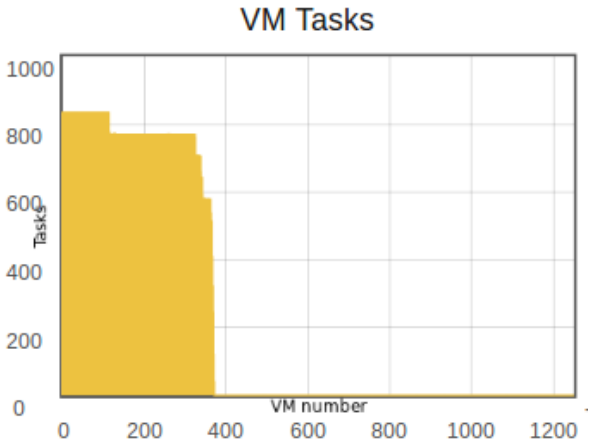
виртуалните машини в облака. Както се вижда зададената мрежа (облак) се справя с посочените задачи, а натовареността е далеч от възможната максимална такава.



Фиг.4.14. Натоварване на центъра за данни



Фиг.4.15. Натоварване на процесорите на изчислителните сървъри



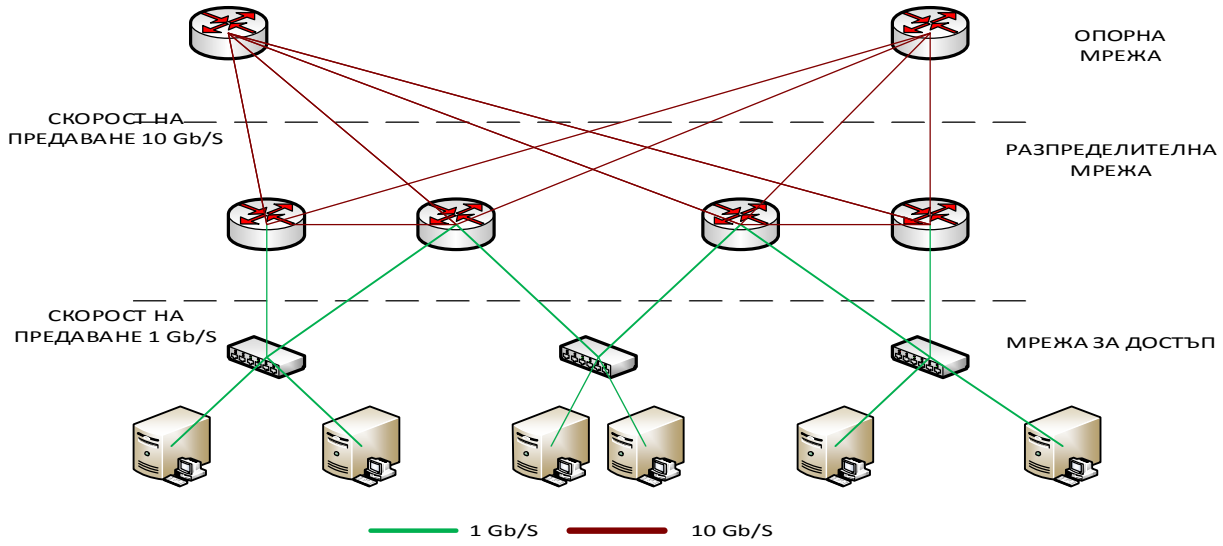
Фиг.4.16. Брой на изпълнените задачи от виртуалните машини

При тази симулация оборудването на облачната мрежа е повече от необходимото. Наблюдава се голям резерв на съоръжения за бъдещи нужди, но при така зададените параметри не ни е необходим облак с такава изчислителна мощ, защото това би довело до значителното увеличение на капиталовите разходи (CAPEX - Capital Expenditure). Вижда се, че облакът се справя с поставените задачи като приблизително общото му натоварване е една четвърт, което означава, че има резерв от 75%, което ще бъде свързано с огромни инвестиционни разходи. Също така нека обърнем внимание на голямата обща

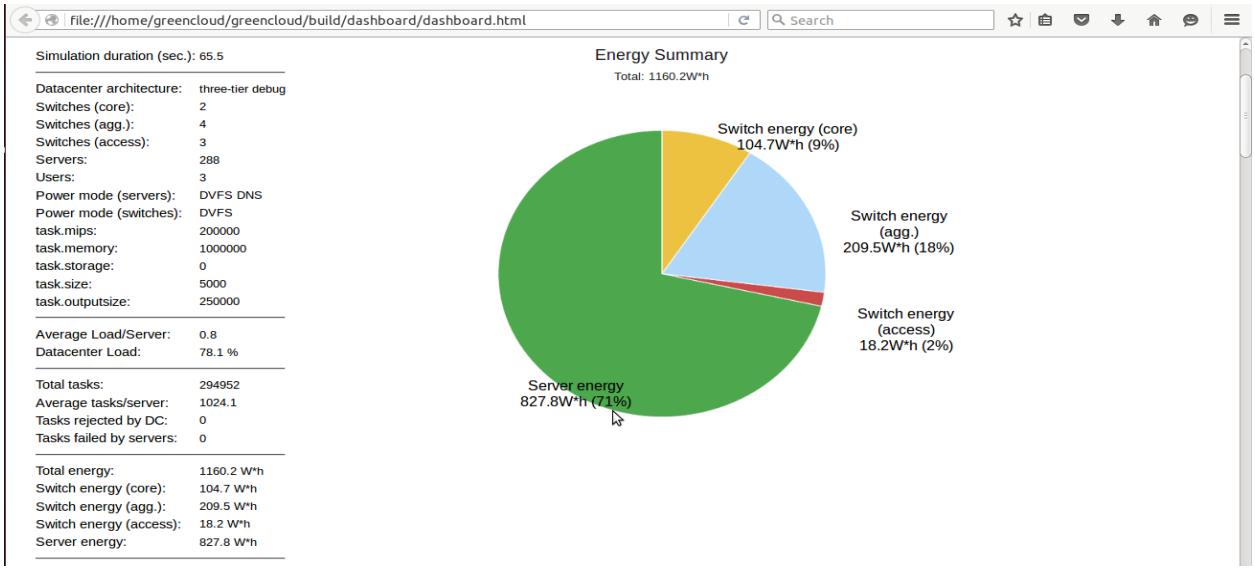
консумация, която е 2100.4 W*h и като добавим повечето оборудване това води до увеличаване на експлоатационните разходи (OPEX- Operating expense).

В симулатора е въведена от разработчиците следната зависимост, а именно, че броят на комутаторите на ниво на разпределителната мрежа е точно два пъти по-голям от комутаторите на опорната мрежа. Това е така, за да се осигури достъп на голям брой абонати до облачните услуги.

На фигура 4.20 е представена структурата на симулирания облак при голямо натоварване. На фигура 4.21 е показана структурата на системата, както и консумираната енергия от определения по-горе брой устройства, необходими да обработят задачите. Според консумираната енергия за по едно устройство от всеки слой се вижда, че тя е най-голяма в мрежата за разпределение – 209.5 W*h, точно два пъти повече от тази на горното ниво (опорна мрежа), която е 104.7 W*h. Комутаторите за достъп консумират 18.2 W*h, а сървърите 827.8 W*h, тоест сървърите консумират най-много енергия от всички устройства. Общата консумация е 1160.2 W*h. Задачите, подадени за обработка, са 294952. Общият брой сървъри в така създадената система са 288.



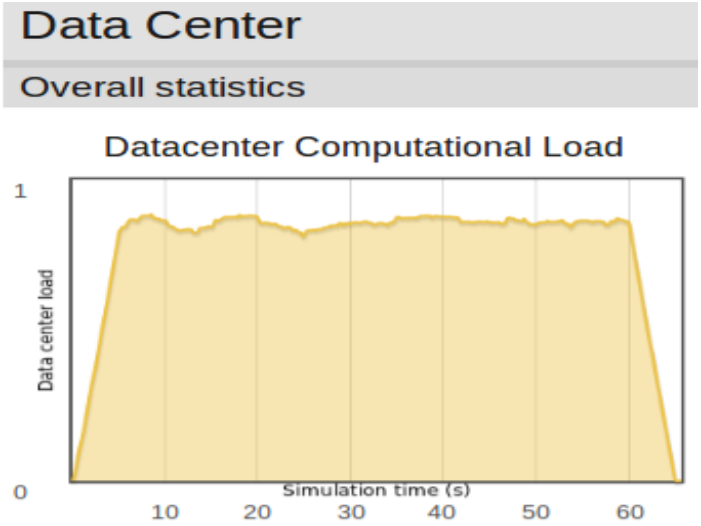
Фиг.4.20. Структура на симулираната трислойна мрежа при голямо натоварване



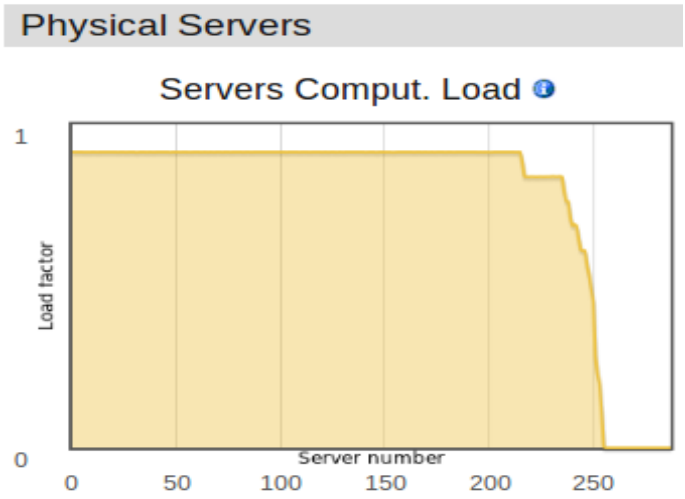
Фиг.4.21 Консумирана енергия и структура на облачната система

На фигура 4.22 е представен трафикът, показващ натоварването на центъра за данни. На фигура 4.23 е показано средното натоварване на процесорите на различните сървъри от симулирания облак.

За да се симулира облачна мрежа при голямо натоварване се реши да се намали оборудването с приблизително 50% и да се увеличат потребителите. Както се вижда натоварването на центъра за данни е около 80%. Използваните сървъри за обработка на задачите са малко над 250 от 288, което също оставя подобен реципрочен резерв от около 15%. Броят на изпълнените задачи от виртуалните машини е голям. Получи се един добре балансиран облак и е постигнато много добро съотношение на цена/качество.



Фиг.4.22. Натоварването на центъра за данни



Фиг.4.23. Натоварване на процесорите на изчислителните сървъри

Резултати и изводи

В тази глава са показани специфичните особености на MPLS технологията, даваща възможност да се предоставят услуги с гарантирано качество на обслужване. Представен е метод за проектиране на MPLS мрежи с диференциране на услугите и на трафика. Анализирана е методологията на планиране, базирана на жизнения цикъл. Разгледани са особеностите, които трябва да се вземат предвид при проектиране и някои от начините за оптимизиране.

Направен е преглед на услугите, предоставяни от облачните мрежи, които са на разположение на потребителите, ведомствата и организациите. Обърнато е внимание и на различните модели при облачните услуги. Представени са следните програмни продукти и инструменти за симулация в облаците – CloudSim, OCT, GreenCloud, като им е направен кратък анализ и са изтъкнати основните предимства и недостатъци.

Избрана е програма за симулации (GreenCloud), симулирани са две облачни мрежи с различни параметри като брой потребители, комутатори и сървъри. Получени са резултати като: консумираната енергия, трафикът на процесорите на различните сървъри от симулирания облак, броят на изпълнените задачи от виртуалните машини в облака, трафикът, показващ натоварването на центъра за данни и натоварването на отделните линии, свързващи комутаторите. Получените резултати са представени графично и са анализирани.

Моделираните облачни мрежи могат да намерят приложение като частни, публични и хибридни облаци. В бъдеще ще се подберат и използват други програмни продукти за симулация в облака, като с тях ще продължат симулационните изследвания. Получените резултати могат да се използват при бъдещо проектиране на облачни центрове.

Изводи:

1. Разгледани са различни методи при планиране на MPLS мрежи, като е направена съпоставка и са показани основните им характеристики, които оказват влияние при планирането им. Предложена е подобрена методология на планирането на такъв тип мрежи.

2. След анализ на параметрите, възможностите и характеристиките е избрана програмата GreenCloud, която дава възможност чрез симулации да се изследват детайлно различните видове облаци и да се оцени качеството на обслужване, тяхната консумация и проблеми при предоставяне на услуги.

3. Получените резултати и дадените препоръки от тези изследвания могат да се използват при проектиране на облаци с различна архитектура, характеристики и входни параметри.

4. Разработеният и предложен симулационен модел може да се използва за изследване на облачни технологии и системи с други разпределения на случайните процеси. Този модел ще помогне да се анализират проблемите със загубите и закъсненията. В бъдеще ще разработваме симулационни модели за различни класове облачни системи.

Научно-приложни и приложни приноси

В резултат на изследванията в дисертационния труд, свързани с трафични измервания, анализ и планиране на IP базирани мрежи, могат да се дефинират следните претенции за получени приноси:

1. Резултатите от проведените измервания с избрания мрежов анализатор Capsa показват, че трафикът в изследваната локална мрежа от мултимедиен тип и трафикът при предоставяне на услугата VoIP е хетерогенен и неравномерен.

2. Статистическият анализ на резултатите от измерванията показват, че разпределението на размера на пакетите е бимодално и се апроксимира най-добре с бета разпределение, а разпределението на интервалите между моментите на постъпване е неравномерно и се апроксимира най-добре с гама разпределение.

3. Симулирана е мрежа, предоставяща VoIP услуги, чрез изграждане на подходящ сценарий чрез системата OPNET, оценено е качеството на обслужване и са дадени препоръки за подобряване на предлаганата услуга. Направени са симулации с различни кодеци при различни дисциплини на обслужване на опашките.

4. Чрез разработения симулационен модел на едноканалната телетрафична система с неравномерен входящ поток Pareto/MM/1/k е показано, че неравномерността води до значително нарастване на загубите и на закъсненията в мрежите с пакетна комутация.

5. Представен е метод за проектиране на MPLS мрежи, отчитащ диференцирането на услугите, на трафика и неговата връзка с качеството на обслужване, базирана на жизнения цикъл.

6. Представени са различни програмни продукти и инструменти за симулация на центровете, предоставящи облачни услуги – CloudSim, OCT, GreenCloud, TeachCloud, като им е направен кратък анализ и са изтъкнати основните предимства и недостатъци.

7. С избраната програма за симулации (GreenCloud) е симулирана облачна инфраструктура с определени параметри и са получени резултати за консумирана енергия, трафика на процесорите на различните сървъри, броя на изпълнените задачи от виртуалните машини в облака, трафика, показващ натоварването на центъра за данни, на отделните линии и на свързващите комутатори.

8. Анализът на получените резултати от симулацията на облачната инфраструктура при малко и при голямо натоварване доведоха до следните изводи: зададената мрежа (облак) се справя с поставените задачи, разпределителният слой е най-натоварен, правият канал е значително по-натоварен от обратния.

Списък на публикациите по дисертационния труд

1. Мирчев С., Р. Голева, Г. Балабанов, Г. Георгиев. Изследване на телетрафичната система Pareto/MM/1/k чрез симулиране. 21-ва национална научно-техническа конференция с международно участие „Телеком 2013”, 2013, стр. 146-154.

2. Георгиев Г., С. Мирчев, Методи за измерване и мониторинг на трафика в IP мрежи, Национална конференция с международно участие „Електроника 2014“, 2014, стр. 161 – 168. ISNN: 1313-3985

3. Георгиев Г., С. Мирчев, Измерване и оценка на параметрите на трафика при предоставяне на услугата VoIP, Форум Електроника, ISSN: 1314-8605, 2015, стр. 185- 190.

4. Мирчев С., Г. Диновска, Г. Георгиев. Оценка на качеството на обслужване при предоставяне на услугата VoIP, Форум Електроника, ISSN: 1314-8605, 2015, стр. 177- 184

5. Georgiev G., Performance evaluation of Internet traffic by network measurements, Monthly scientific and technical journal “Electrotechnica & Electronica” E+E, ISSN: 0861-4717, Vol. 50, N: 3-4, 2015, pp. 41-47.

6. Георгиев Г., С. Мирчев, И. Станев. Подходи и методи в планирането на MPLS мрежи. НКМУ "Телеком 2015", София, 2015, стр. 204-215. ISSN: 1314-2690.

7. Недялков И., Г. Георгиев. Облачни услуги - инструменти за моделиране и симулации, XXIV НКМУ „Телеком 2016”, София, 2016, стр. 131- 141. ISSN: 1314-2690.

8. Мирчев С., Г. Георгиев, И. Станев, Облачни услуги - обзор на развитието и симулирането на облачни мрежи, Форум Електроника, ISSN: 1313-3985, 2017, стр. 17- 30.

SUMMARY

Traffic measurements, analysis and planning of IP based networks

Eng. Georgi Petrov Georgiev

The PhD thesis consists of four chapters.

The first chapter reviews the methods for measuring and monitoring the traffic in the IP network. The basic principles of planning IP based networks are discussed. The parameters and characteristics of the traffic are described and an attempt has been made to answer the following questions: Why are traffic measurements and IP network monitoring required?; What parameters characterize traffic, network and service quality?; Will these parameters be measured by direct measurements or by calculations based on other measurements?; What types of network infrastructures or protocols are needed for monitoring?; How are measurements used to make effective use of network resources?; How do measurements help to provide an appropriate quality of service to the services provided?; How does the development of network monitoring respond to the rapid growth of traffic and new technologies?; What are the challenges for IP-based network planning?.

The second chapter reviews the basic methods of measuring traffic on the Internet, which is heterogeneous and peaked. Some of the network measurement software platforms have been explored. It shows the need to measure and monitor traffic in IP-based network for network planning, optimization and quality of service and security breach detection.

Measurements are done on a local area network. The network load was measured over a period of time with different reporting intervals. The change of traffic is also evaluated.

The basic parameters of traffic using VoIP technology are measured and analyzed. Attention is drawn to the main reasons for the deterioration quality of service. Measurements of the network have been done, such as: the usability of the ports from a particular protocol, the generated information, the magnitude of the intervals between the packet arrivals and e.t.

Through EasyFit, approximations for evaluating packet size distributions and packet interarrival time distribution are made.

The third chapter describes the architecture and the principle of operation of the VoIP networks, the methods for assessing the quality of service in providing the VoIP service, the different speech coding algorithms and the different ways of managing the traffic flows. One of the most commonly used speech coding techniques (G.711, G.723, G729) has been explored and various queuing disciplines have been evaluated. A network providing VoIP services has been simulated, experiments have been conducted, quality of service assessed and recommendations to improve the provided service are given. The quality of service on VoIP networks is assessed by building a suitable scenario that is simulated by OPNET IT Guru Academic Edition 9.1.A.

In the chapter a generalized Pareto distribution is used to generate the input stream of service requests and a trimodal distribution to simulate packet size. A real-time simulation model is proposed to evaluate the stationary probabilities of the states, probability of loss and delays of the Pareto/MM/1/k system, and the results is compared with the M/M/1/k and M/G/1 systems. The basic simulation model of the teletraffic system is described in details.

The fourth chapter shows the specific features of MPLS technology, enabling us to provide services with guaranteed quality of service. A method for designing MPLS networks, differentiating services, traffic, and its connection to quality of service is presented. Life-cycle planning methodology is analyzed. Consideration is given to the features that need to be considered when designing and optimizing networks.

An overview of the cloud-based services available to users, departments and organizations is made. A simulation program (GreenCloud) is selected, two cloud networks with different parameters such as number of users, switches and servers are simulated. Simulated cloud networks can find application as private, public, and hybrid clouds. In the future, other cloud simulation software will be selected and used, and simulation studies will continue. The obtained results can be used in future design of cloud centers.

At the end, conclusions and future work planning are commented.