

Българска академия на науките
Институт по математика и информатика

ЕМИЛИЯ ТОДОРОВА САРАНОВА

**ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ
С КОМУТАЦИЯ НА КАНАЛИ ПРИ ДЕТАЙЛНО ОТЧИТАНЕ
НА ПОТРЕБИТЕЛСКОТО ПОВЕДЕНИЕ**

Автореферат

за присъждане на образователна и научна степен "доктор"

в област на висше образование:

4. Природни науки, математика и информатика

професионално направление:

4.6 Информатика и компютърни науки

по научна специалност

01.01.12 "Информатика" (информационно моделиране)

Научни консултанти:

доц. д-р Стоян Порязов

Институт по математика и информатика – БАН

проф. д-р инж. Иван Куртев

ВУ "Колеж по телекомуникации и пощи"

София

2011

Автор: Емилия Тодорова Саранова

Заглавие: ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ С КОМУТАЦИЯ НА КАНАЛИ ПРИ ДЕТАЙЛНО ОТЧИТАНЕ НА ПОТРЕБИТЕЛСКОТО ПОВЕДЕНИЕ

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на Научния семинар по Информационно моделиране на ВНЗ "Информационно моделиране" към ИМИ-БАН, проведено на 6.12.2011г.

Изследванията по дисертационния труд са проведени в секция "Телекомуникации" и ВНЗ "Информационно моделиране" при ИМИ-БАН.

Данни за дисертационния труд

Брой страници	226
Брой фигури	18
Брой таблици	3
Брой доказани твърдения (и отделно следствия)	37(22)
Брой литературни източници	157
Брой публикации по темата на дисертационния труд	9

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 17.01.2011 г. от 15 часа в Заседателната зала на ИМИ-БАН на открито заседание на Научното жури.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в Библиотеката на ИМИ-БАН и на Интернет страницата на ИМИ-БАН.

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Основен метод за гарантиране на качеството на обслужване в съвременните телекомуникационни мрежи, както и в предвиданото следващо поколение, е резервацията на ресурси, например честотна лента, опашки и др.. На практика, това се изразява в резервация на виртуални канали в съответни виртуални мрежи (VNET) за гарантиране на качеството на обслужване на най-приоритетния трафик.

Разглеждаме оразмеряване на телекомуникационни мрежи, гарантиращи качеството на обслужване на трафик от клас 0 – в реално време, чувствителен към джитер, с висока интерактивност (напр. видеотелеконференция). Трафичните потоци с по-нисък приоритет използват временно освободените ресурси от тези с по-висок приоритет. Понастоящем, и в обозримо бъдеще, за оразмеряване на виртуални мрежи, гарантиращи качество на обслужване на високо приоритетен трафик, се използват методите за оразмеряване, разглеждащи виртуални канали.

Настоящата дисертация има за основна задача разработване на подход за оразмеряване на такива телекомуникационни мрежи.

Цел и задачи на дисертацията

Формулировка на проблема за оразмеряване

Да се оразмери (повторно оразмери) мрежа означава да се намери необходимият брой съединителни линии (виртуални канали) за обслужване на определен трафик, който процес да е въз основа на предварително зададени целеви стойности на параметри за желано ниво на качество на обслужване (за което се предполага че трябва да бъде постигнато, подобро или запазено) и определени входни трафични параметри (получени чрез преки измервания и/или изчисления, използващи измерените величини).

Цели на дисертацията

Основна цел на представените изследвания е развитие на (математически и информатични) модели на оразмеряване/реоразмеряване на мрежи с комутация на канали при детайлно отчитане на поведението на потребителите, което е по-ефективно от досега направените.

Подцели, подчинени на формулираната обща цел:

1) анализ на предимствата и недостатъците на съществуващите подходи за оразмеряване на телекомуникационни мрежи с комутация на канали;

2) въз основа на направения анализ да бъдат формулирани условия, на които подходът за оразмеряване, който ще бъде разработен, е необходимо да отговаря, за да бъде по-точен от съществуващите;

3) представеният подход да бъде тестван и сравнен със съществуващи подходи.

Конкретните задачи, произтичащи от анализа и изводите, свързани със състоянието на съвременните изследвания в областта на оразмеряване на разглежданите системи за постигането на тази цел са:

1. Да се разработи подход за оразмеряване на телекомуникационни мрежи с комутация на канали при детайлно отчитане на потребителското поведение, който да отговаря на следните условия:

- Да разглежда възможно най-цялостно телекомуникационната система като включва поведението на потребителите, техническите характеристики на телекомуникационната мрежа и елементи на политиката на администрацията, пряко влияещи на трафичните характеристики;
- Да позволява прилагането на двете дефиниции за предложен трафик на ITU;
- Да позволява използването на модела на Бернули, Пуасон, Паскал (ВРР) за определяне на потока от първични повиквания при краен брой терминали;
- Да позволява използването за целите на проектирането на параметър(и) с няколко различни, по начина на получаването им, стойности в едни и същи изрази;
- Да може да се използва в максималния допустим теоретичен интервал на входните параметри.

2. Да се разработят алгоритми и компютърни програми за използване на предложения подход, съгласно следните изисквания:

- Да реализира формулираните изисквания в т. 1;
- Да позволява числена верификация на резултатите от оразмеряването;
- Да позволява използване на други разпространени методи с цел сравняване с предложения метод.

3. Да се проведе числен анализ:

- на основните зависимости между параметрите, използвани за оразмеряване на телекомуникационни мрежи;
- на изменението на целевите параметри;
- числена верификация на предложения подход за оразмеряване;
- на резултатите от предложения подход и водещите, сравними методи за оразмеряване.

Методология на изследването

Методологията на настоящото изследване се основава на фундаментални резултати от следните области:

1. Информационно моделиране;
2. Теория на масовото обслужване;
3. Теория на телетрафика – телетрафично инженерство;

За решаването на поставените задачи и описание на изследваните системи са приложени методи на изследване от изброените по-горе области.

Математическите методи и резултати от изследване на натоварванията на телекомуникационните системи са в основата на общата теория на трафика, която в различни случаи носи различни наименования (Queuing Theory, Congestion Theory, Теория масового обслужвания). Въз основа на тази теория се прави оразмеряване/реоразмеряване на мрежи.

Програмните кодове на конструиранияте алгоритми са написани на езика за програмиране на високо ниво – Fortran 90.

За графично изобразяване на резултатите се използват програмните продукти Grapher 2.0 и Surfer 7.0.

Структура и обхват на дисертационния труд

Дисертационният труд се състои от увод, четири глави, заключение, списък с използваните съкращения, списък с публикации, списък с използваната литература и 3 приложения. Работата съдържа 157 заглавия на използвани литературни източници, 3 таблици и 18 фигури. Формулирани и доказани са 37 твърдения и 22 следствия.

Публикуване на резултатите от изследванията в дисертацията

Основните резултати на дисертационния труд са представени в 9 публикации, както следва: 2 са в международно списание ("*Information Technologies and Knowledge*") и 5 статии са в рецензирани издания, като 3 от тях са от международни конференции (*Technosphaera Publisher* и *R&D Company "Information and Network Technologies"*) и 2 – от национални (СМБ и "*Modeling and Control of Information Processes*"), а 2 са части (глави) от книги (изд. *Springer* и *ITHEA*).

Резултатите по тематиката на дисертационния труд са обсъждани и докладвани в рамките на 7 изследователски проекта, посочени в част IV на Автореферата.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Първа глава:

Цялостно качество на обслужване (QoS) в областта на телекомуникационните системи – някои текущи концепции и нерешени въпроси

1.1. Въведение

В глава 1 е направен обзор и анализ на използваните в дисертационния труд понятия и дефиниции от Международния съюз по далекосъобщения (ITU – International Telecommunication Union).

Основната рамка за планиране на капацитета на IP мрежите (IPCP – Internet Protocol Capacity Planning Framework) е проектирана така, че да дава възможност да бъде направена количествена оценка на съотношението между обема на трафика, качеството на обслужване, капацитета и цената в мулти-сървисна пакетно – базирана среда. Съвременният телетрафик се категоризира в класове, като всеки клас има различни изисквания за качество на обслужване. При всички класификации, качеството на трафика от най-висок клас се осигурява приоритетно, посредством резервация на ресурси, организирани като виртуални канали и опашки. Трафикът с по-ниски изисквания за качество, използва ресурсите, които не се използват от най-приоритетния трафик, или се освобождават от него динамично (например в паузи).

В дисертационния труд е разгледано понятието телетрафик, неговото характеризирание в класове на качество на мрежово обслужване и методите на телетрафичното инженерство за гарантиране на качеството на обслужване. Обосновано е развитието в дисертацията на метода на резервация на ресурси за гарантиране на качеството на обслужване. Разглеждат се системи, пренасящи трафик от клас 0 (в реално време, чувствителен към джитер, с висока интерактивност, например видеоконференции), при които за гарантиране на качество на обслужване (QoS) се предвижда отделна опашка във всеки възел и специално обслужване с предимство.

1.2. Основни заключения

Основните заключения от направения обзор и анализ на използваните в дисертационния труд понятия и дефиниции от действащите документи на ITU и други литературни източници са:

За оразмеряване на телекомуникационните мрежи, гарантиращи договореното качество на обслужване на трафик от клас 0, се използват формулите за прогнозиране на блокировките от типа на тази на Ерланг. Тези формули се използват както при управление на трафика, така и при управление на капацитета.

От анализа на препоръките на ITU-T следва, че има съществени различия в прилаганите методи за определяне на предложения трафик, който се използва в тези формули. Тези различия водят до съществено различни резултати.

Общото заключение е, че методите за гарантиране на качеството на обслужване на трафика от най-високата категория (клас 0) се базират на концепцията за мрежи с комутация на виртуални канали, въпреки че голяма част от настоящите и очакваните бъдещи мрежи използват пакетна комутация. Една от основните техники, използвани за гарантиране на качеството е резервиране на честотна лента за виртуалните линии [ITU-T E.360.1, 2002].

Разгледани са два случая на управление на ресурси за качество на обслужване в [ITU-T E.360.3, 2002]: управление посредством виртуални мрежи (per-VNET) и управление посредством трафичния поток (per-flow). Основният използван принцип при методите за разпределение на честотната лента е използване на техниката на резервиране на ширина на честотната лента. Резервацията на ресурсите на ниво виртуална мрежа се препоръчва в [ITU-T E.360.4, 2002].

Референтни модели на телекомуникационни системи. В Глава 1 са разгледани съвременните референтни модели на телекомуникационни системи, например този "от край до край". Потребителите не са споменати като част от мрежата в референтните модели на ITU-T (напр. [ITU-T E.800, 2008] и [ITU-T Y.2173, 2008]). Въз основа на тези концепции, приети в ITU-T и анализа им, предлагаме по-разширен референтен модел, който разглежда телекомуникационната мрежа в цялост, като потребителите са неделима част от концепцията за "QoS от край до край". Направено е сравнение на подхода "от край до край" и цялостния подход (развит и използван от нас) за изследване на ефективността на телекомуникационни мрежи.

Изследванията в дисертационния труд се основават на цялостния подход за моделиране на телекомуникационна мрежа.

Модели за описание на състояние на мрежата. Пространство от състояния на мрежа в препоръките на ITU-T се използва в смисъла на "състояние на потоците от повикване/връзка". Друг подход за разглеждане на състоянието на мрежата [Poryazov, 1991] е т. нар. метод за изследване на "състояние на съвкупно устройство", при който мрежовото състояние на цялостната телекомуникационна се разглежда като сумиране на макро-състоянията (например средната интензивност на трафика) на вложени виртуални устройства. Методите за изследване "състояние на потоците от повикване/връзка" и "състояние на съвкупно устройство" не са алтернативни. Те се допълват. В дисертационния труд се използват и двата подхода.

Предложени са дефиниции на системен и базов кортежи, въз основа на съществуващите подходи за описание на състоянието на телекомуникационна мрежа. Състоянието на телекомуникационната система е представено и моделирано със системен кортеж. Базов кортеж е множество от базови параметри (подкортежи на системния кортеж), такава че ако стойностите на базовите параметри са известни, могат да бъдат изчислени стойностите на всички останали параметри в същия системен кортеж. Една от целите на настоящата работа е да се разработят методи за оразмеряване и намиране на базов кортеж, ползващи лесноизмерими величини.

Разгледани са дефинициите и свързаните понятия за виртуална мрежа (VNET), еквивалентна мрежа, еквивалентни съединителни вериги, както и обобщеното понятие за блокировка в [ITU E.726, 2000].

Направен е обзор и кратък анализ на седемте най-използвани метода (на Ерланг В, Поасон, разширения на Ерланг В, на Молина, Нийл-Уилкерсон, ERT (Equivalent Random Traffic) и Енгсет) за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи с комутация на канали. Аргументира се изборът на В-формулата на Ерланг. В настоящата работа е използван обобщен ВРР трафичен модел.

Направен е критичен анализ на действащите дефиниции в препоръките на ITU и на използваните от Cisco, по отношение на понятието "предложен трафик" и процедурите за изчисляването му. Това понятие е основно при оразмеряване/реоразмеряване на мрежи.

1.3. Нерешени въпроси в теорията на трафичното натоварване на телекомуникационни системи, изводи и предложения

Анализът на съществуващата литература показва, че в Теорията на трафичното натоварване на телекомуникационни системи с комутация на канали все още не са решени следните въпроси:

1) Досегашните разглеждания не разглеждат телекомуникационните системи в цялост.

2) Досегашните разглеждания отчитат поведението на потребителите с ограничен брой параметри, обикновено с два и по-рядко с три параметъра. Това, че поведението на потребителите не се отчита по-детайлно се отразява на точността на оразмеряване.

3) В досегашните разглеждания няма отделно моделиране на А и В терминалите и абонатите, както и тяхното взаимодействие. Това е съществено за точността при оразмеряване/реоразмеряване на мрежи.

4) Не се отчита цялостно измененията на трафика в цялата система, които изменения биха се получили при промяната на броя на съединителните линии. Съществуващите методи не отразяват и изменението на продължителността на обслужване на повикванията след промяна на броя на съоръженията.

5) Не се отчита тясната връзка между вероятността за зает В терминал и вероятността за блокировка поради недостиг на съоръжения. Досегашните разглеждания коментират, но не отразяват тази зависимост при моделиране на телекомуникационни системи.

Това създава значителни неточности при оразмеряването/реоразмеряването на мрежи. Количествено това е показано в глава 4.

Нашето предложение: Моделиране на оразмеряване на телекомуникационна мрежа в цялост, която детайлно отчита поведението на потребителите и е съобразена с направените по-горе изводи.

Въз основа на целта и направените анализи и изводи, са формулирани задачите на дисертацията в областта на оразмеряване на телекомуникационни мрежи с комутация на канали при детайлно отчитане на потребителското поведение, изброени в част I на Автореферата.

1.4. Основни приноси към Глава 1:

Предложени са дефиниции за системен и базов кортежи.

Резултатите от глава 1 са публикувани и използвани в: [Saranova, 2006-02], [Saranova, 2007-02], [Poryazov, Saranova, 2006-03], [Saranova, 2008-02], [Saranova, 2008-01], [Saranova, 2008-03].

Втора глава:

Описание на методите

2.1. Въведение

В глава 2 е описан концептуален модел [Порязов, 2005] на телекомуникационна система с комутация на канали, в стационарно състояние, с обобщен входящ (BPP) поток, краен брой хомогенни терминали и загуби от изоставено и прекъснато набиране на номер, блокирана и прекъсната комутация, недостъпен терминал, слушане и изоставяне на слушането на сигнал "заето" и изоставен разговор. Моделът включва и обкръжението на телекомуникационната мрежа, което е важен компонент в определянето на постъпващите потоци от първични и повторни повиквания. Концептуалният модел детайлно отразява поведението на потребителите.

Разгледани са два типа виртуални устройства: базови устройства и устройства, съдържащи базови устройства (съставни виртуални устройства).

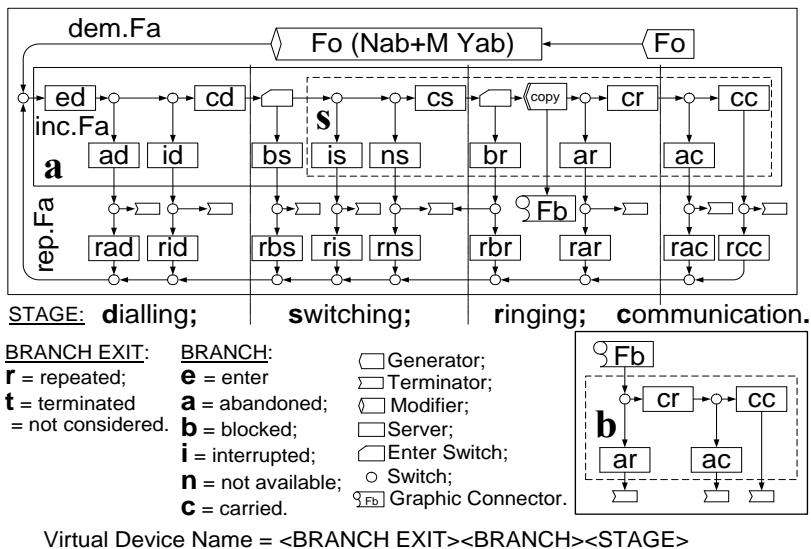
Описани са базовите виртуални устройства, параметрите им и възможните пътища на повикванията, в модела, както и съставните (агрегиращи) устройства, съдържащи базисни виртуални устройства.

Използваният концептуален модел и използваните в него означения на виртуални базови устройства и графичните им изображения, са показани на Фиг.2.1.

Реалните устройства са представени като свързан, с помощта на стрелките-указатели, набор от виртуални устройства. Цялостният модел на мрежата се разглежда като съставен от (вложени) виртуални устройства на пет нива на обслужване: базово виртуално устройство, фаза, стадий (етап), комутационна подсистема, терминална подсистема.

Моделът е разделен според етапите на обслужване на повикванията (набиране на номер, комутация, звънене и комуникация). Всеки етап на

обслужване има разклонения (вход, изоставяне, блокиране, прекъсване, недостъпност, пренасяне), съответстващи на основните възможни разглеждани случаи на завършване на обслужването на повикване в разглежданото разклонение.



Фиг. 2.1. Концептуален модел на телекомуникационна система и обкръжението ѝ, включващ: пътищата на повикванията, заемащи А-терминалите (А-устройство), система за комутация (S-устройство) и В-терминали (В-устройство) типове базови виртуални устройства с техните наименования и графични означения.

2.2. Основни особености в развивания подход за означаване на виртуалните устройства и параметрите им

Създадена е съвкупност от базови виртуални устройства, всеки с уникална функционална роля. Минималният набор от използвани функции се състои от: *Генератор* (Generator) (създава или копира заявки); *Терминатор* (Terminator) унищожава заявки; *Модификатор* (Modifier) (комбинация от Генератор и Терминатор); *Сървър* (Server) (обслужва заявки); *Стрелка-указател* (Pointer) (показва следващото виртуално устройство); *Комутатор* (Switch) (насочва към един от изходящите указатели). Всяко виртуално устройство (Сървър) има най-малко шест параметъра: вероятността за насочване на заявките към него (P), честотата на заявките (F) [calls/sec.], времето за обслужване (време на

заемане) на една заявка в разглежданото устройство (T)[sec.], интензивността на трафика (Y)[Erl], обем на трафика (V); капацитет на устройството (N = брой на местата за обслужване (линии, сървъри) във виртуалното устройство).

Квалифицикатори, като част от името на параметър, се използват за характеризиране на параметрите. Значението на използваните квалифицикатори (например: поискан (demand), предложен (offered), пренесен (carried), блокиран (blocked)) е описано в [ITU-T E.600, 1993].

Класификацията на стойности според причината за появата им се представя от структурите на референтния модел и се отразява в името на виртуалното устройство. Името на всяко виртуално устройство е отражение на положението на устройството в модела. То е конкатенация на първата буква на: име на изхода от клона в модела, където се намира устройството; име на клона; етап на обслужване.

Име на виртуално устройство =
= <Изход от разклонението><разклонение><етап>

Тези имена са дадени в Таблица 3.

Таблица 3

Изход на клона	Клон	Етап
<i>r – repeated</i> (повторение)	<i>e – enter</i> (вход, начало)	<i>d – dialing</i> (номеронабиране)
<i>t – terminated</i> (унищожаване)	<i>a – abandoned</i> (изоставен)	<i>s – switching</i> (комутация)
	<i>b – blocked</i> (блокиран)	<i>r – ringing</i> (звънене)
	<i>i – interrupted</i> (прекъснат)	<i>c – communication</i> (използване на връзка, комуникация)
	<i>n – not available</i> (недостъпен)	
	<i>c – carried</i> (пренесен)	

Всяка фаза се състои от успешен и неуспешен клон.

Причинните квалифицикатори участват в името на устройството с първата буква на моделирания неуспех. Например, "Prad" се използва за "вероятност за повторни опити след случаи на изоставено набиране".

Методът за класификация на стойности според начина на получаване, както и втори набор на квалифицикатори са използвани в задачата за

оразмеряване на мрежи в [Saranova, 2007] и [Saranova, 2008]. Например, *emp.crr.Ys* и *dsn.crr.Ys* означават съответно емпирична и проектна стойности на интензивността на пренесения трафик в комутационната подсистема.

Използваната терминология за обслужването, трафичните параметри и префиксите е съгласувана с тези на ITU-T.

Фигура 2.1 показва поведението на повикванията, генерирани (и заети) от А-терминалите в предложения трафичен модел и обкръжението му.

F_0 е интензивността от повиквания, генерирани от един свободен терминал; $inc.Fa=Fa$ е интензивността от входящия поток на А-терминали, а M е константа, характеризираща ВРР поток от първични повиквания (*dem.Fa*).

Разгледани са следните виртуални устройства (включващи няколко базови виртуални устройства): a = виртуално устройство, което включва всички А- терминали (викащи) в системата; b = виртуално устройство, което включва всички В-терминали (викани) в системата; ab = устройство, включващо всички терминали (викащи и викани) в системата (не е показано на Фиг. 2.1); s = виртуално устройство, което съответства на комутационната система.

Има две виртуални устройства от типа Enter Switch (Фиг.2.1) преди устройствата на блокирана комутация (bs –Blocked Switching) и блокирано звънене (br –Blocked Ringing). Тези устройства отклоняват повикванията, ако няма свободни линии в комуникационната система или съответно търсения В- терминал е зает. Съответните вероятности на прехода зависят от макросъстоянието на системата (Yab) (подобно на "mean traffic intensity" в (ITU E.600)).

Разгледана е пълната съвкупност от параметри (175 на брой), описваща всички параметри в концептуалния модел (и съответната телекомуникационна система), в моделирания интервал от време, наречена "системен кортеж". Описана е под-съвкупност от базови параметри (41 на брой), наречена "базов кортеж", от която могат да се изведат стойностите на всички параметри от системния кортеж, които не са включени в базовия.

2.3. Две класификации на параметрите от базовия кортеж

Класификация на параметрите от базовия кортеж, според характеризирания от тях обект

1) Параметрите, характеризиращи поведението на потребителите са (21): *Fo, Nab, Prad, Tid, Prid, Pris, Tis, Pns, Tns, Prns, Tbs, Prbs, Tbr, Prbr, Par, Tar, Prar., Tcr, Prac, Tcc, Prcc*;

2) Параметрите на техническите характеристики са (4): *Pid, Pis, Tcs, Ns*;

3) Параметри от смесен тип са (6): *Ted, Pad, Tad, Tcd, Pac, Tac*;

4) Моделен параметър с избрана стойност е (1): *M*;

5) Параметрите, изразени чрез предходните четири групи са (9): *Yab, Fa, dem.Fa, rep.Fa, Pbs, Pbr, ofr.Fs, Ts, ofr.Ys*.

Класификация на статичните и динамични параметри

Предлагаме класификацията за краткосрочни разглеждания да съдържа 31 статични и 10 динамични параметъра, избрани измежду базовите параметри.

Статичните 31 параметъра (използвани при по-нататъшните изчисления) са: *M, Nab, Ns, Ted, Pad, Tad, Prad, Pid, Tid, Prid, Tcd, Tbs, Prbs, Pis, Tis, Pris, Pns, Tns, Tcs, Prns, Tbr, Prbr, Par, Tar, Prar, Tcr, Pac, Tac, Prac, Tcc, Prcc*.

Динамичните десет параметъра с взаимнозависими стойности са: *Fo, Yab, Fa, dem.Fa, rep.Fa, Pbs, Pbr, ofr.Fs, Ts, ofr.Ys*.

Направени са 14 допускания, въз основа на които и в съответствие с концептуалния модел е създаден аналитичен модел на разглежданата цялостна комуникационна система, който позволява да се предвидят загубите от блокировка, поради недостиг на вътрешни съединителни линии в комутационната система, както и поради намиране на търсения терминал зает.

Изразени са основните обобщени мрежови телетрафични параметри, като функция на стойностите на параметрите на простите (базови) виртуални устройства, в модела. Обобщените динамични мрежови параметри включват: макросъстоянието на системата (трафика на всички терминали); по отделно трафика на викащите и виканите такива; общият постъпващ поток от заявки; предложеният, на комутационната система, трафик и други. Изведени са няколко обобщени параметри

$(S_1, S_2, S_3, R_1, R_2, R_3, S_{1z}, S_{2z})$, които се считат за статични, в разглеждания интервал от време, като при формулирането на някои от тях са отчетени специфичните нужди на задачата за оразмеряване.

2.4. Изведени математически изрази за трафични характеристики

Въз основа на разглеждания концептуален модел, са изведени някои съществени математически зависимости. Обобщено представяме някои от тях, изведени и доказани в твърденията от 2.1 до 2.13.

Интензивност на входящия поток

Интензивност на входящия поток от повиквания Fa на викащите (А) терминали е: $Fa = dem.Fa + rep.Fa$.

Интензивност на входящия поток от първични повиквания $dem.Fa$:
 $dem.Fa = Fo (Nab + M Yab)$.

Интензивност на поток от повикванията с повторни опити $rep.Fa$:
 $rep.Fa = Fa \{PadPrad + (1 - Pad)[PidPrid + (1 - Pid)[PbsPrbs + (1 - Pbs)[PisPris + (1 - Pis)[PnsPrns + (1 - Pns)[PbrPrbr + (1 - Pbr)[ParPrar + (1 - Par)[PacPrac + (1 - Pac)Prcc]]]]]]\}$.

Интензивност на предложения поток от повиквания в комутиционната система $ofr.Fs$: $ofr.Fs = Fa (1 - Pad)(1 - Pid)$.

Интензивност на трафика

Интензивност на трафика на всички А и В терминали (Yab) е $Yab = Ya + Yb = Fa \{Ted + PadTad + (1 - Pad)[PidTid + (1 - Pid)[Tcd + PbsTbs + (1 - Pbs)[PisTis + (1 - Pis)[PnsTns + (1 - Pns)[Tcs + PbrTbr + 2(1 - Pbr)Tb]]]]\}$, при ограничения $0 \leq Yab \leq Nab$.

Интензивност Yb на трафика на В-терминалите: $Yb = FbTb$, където Tb е средната стойност на времезаемане на повиквания в В-терминал и $Tb = ParTar + (1 - Par)[Tcr + PacTac + (1 - Pac)Tcc]$ и $Fb = Fa(1 - Pad)(1 - Pid)(1 - Pbs)(1 - Pis)(1 - Pns)(1 - Pbr) = Fa Eb$.

Интензивност Ya на А-терминалния трафик: $Ya = FaTa$, където $Ta = Ted + PadTad + (1 - Pad)(PidTid + (1 - Pid)(Tcd + PbsTbs + (1 - Pbs)(PisTis + (1 - Pis)(PnsTns + (1 - Pns)(Tcs + PbrTbr + (1 - Pbr)Tb))))$

Интензивност на предложения трафик в комутационна система:
 $ofr.Ys = ofr.Fs Ts$, където средното време за заемане в комутационната система (Ts) е

$$Ts = [PisTis + (1 - Pis)[PnsTns + (1 - Pns)[Tcs + PbrTbr + (1 - Pbr)Tb]]].$$

Намиране на вероятности

Вероятностите за повторни опити ($Prxx$), когато системата е в стационарно състояние, имат средна (очаквана) стойност за всички опити и повиквания. Например, вероятността за повторение на опит и повикване след изоставено звънене ($Prar$): $Prar = \lim_{t \rightarrow \infty} Prar(0, t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{Zrar(0, t)}{Zar(0, t)}$.

Намиране на вероятностите за блокировки

Вероятност за попадане на зает В-терминал: Въз основа на доказаните равенства, можем да дефинираме Pbr като функция на Yab и Nab :

$$Pbr = \frac{Yab - 1}{Nab - 1}, \text{ ако } 1 < Yab \leq Nab,$$

$$Pbr = 0, \text{ ако } 0 \leq Yab \leq 1.$$

Вероятността за блокировки поради липса на достатъчно съоръжения Pbs се определя от следното уравнение:

$$Pbs = Erl_b(Ns, ofr.Ys),$$

където е използвано следното означение на В-формулата на Ерланг:

$$Erl_b(Ns, ofr.Ys) = \frac{(ofr.Ys)^{Ns}}{\sum_{j=0}^{Ns} \frac{(ofr.Ys)^j}{j!}}, \quad (3.21)$$

а Ns е броят на еквивалентните вътрешни съединителни линии в комутационната система.

Гранични и прагови стойности

Доказва се, че съществува прагова стойност $thr.Fa > 0$ съответно на интензивността на входящия поток, за която в интервала $Fa \in [0, thr.Fa]$ има заети терминали, но няма загуби, породени от намирането на заети В-терминали. В този случай $thr.Fa = \frac{1}{S_1 - S_3 Pbs}$. Аналогично, съществува

прагова стойност ($thr.Fo > 0$) на интензивността на поискания поток от един свободен терминал, за която в интервала $Fo \in [0, thr.Fo]$:

$$thr.Fo = \frac{1 - R_1 - R_3 Pbs}{(S_1 - S_3 Pbs)(Nab + M)}.$$

Доказва се, че съществува (Твърдение и следствие 2.10.b) максимална стойност ($\max.Fa$) на интензивността на входящия поток, за която в интервала $Fa \in [thr.Fa, \max.Fa]$ е изпълнено $\max.Fa = \frac{Nab}{S_1 - S_2 + (S_2 - S_3)Pbs}$.

Аналогично се доказва, че съществува максималната стойност ($\max.Fo > 0$) на интензивността на поискания поток от един свободен терминал: $\max.Fo = \frac{1 - R_1 - R_2 + (R_2 - R_3 Pbs)}{[S_1 - S_2 + (S_2 - S_3)Pbs](1 + M)}$.

Тези резултати са важни за разработка на методите за оразмеряване (Глава 3) и алгоритмите на компютърните програми (Глава 4).

2.5. Основни приноси към Глава 2:

1) Описана е методика за определяне на имената на виртуалните устройства и параметрите им, включваща повече от един квалифициращи префикси.

2) Въз основа на аналитичните зависимости, известните от литературата интервали на практически допустимите стойности на параметрите и математически съображения, са определени граничните и прагови стойности на основни параметри.

Всички изведени зависимости в Глава 2 са формулирани и доказани в 13 твърдения и 9 следствия.

Резултатите, описани в Глава 2, са публикувани в: [Саранова, 2004-01], [Poryazov, Saranova, 2006-03], [Saranova, 2006-04]

Система от обобщени уравнения. Аналитичен модел

За предложения концептуален модел в Глава 2 е изведена система от обобщени уравнения [Poryazov, Saranova, 2006-03].

Уравненията за динамичните параметри са:

$$Yab = Fa[S_1 - S_2(1 - Pbs)Pbr - S_3 Pbs] \quad (3.1)$$

$$Fa = dem.Fa + rep.Fa \quad (3.2)$$

$$dem.Fa = Fo (Nab + MYab) \quad (3.3)$$

$$rep.Fa = Fa [R_1 + R_2 Pbr (1 - Pbs) + R_3 Pbs] \quad (3.4)$$

$$Pbr = \begin{cases} \frac{Yab - I}{Nab - I}, & \text{ако } I < Yab \leq Nab, \\ 0, & \text{ако } 0 \leq Yab \leq I. \end{cases} \quad (3.5)$$

$$Ts = S_{1z} - S_{2z} Pbr \quad (3.6)$$

$$ofr.Fs = Fa (1 - Pad)(1 - Pid) \quad (3.7)$$

$$ofr.Ys = ofr.Fs Ts \quad (3.8)$$

$$Pbs (Ns, ofr.Ys) = Erl_b (Ns, ofr.Ys) \quad (3.9)$$

$$crr.Ys = (1 - Pbs) ofr.Ys \quad (3.10)$$

Системата обобщени уравнения съдържа Nab и осемте обобщени статични параметъра, $S_1, S_2, S_3, R_1, R_2, R_3, S_{1z}, S_{2z}$ определени както следва от (2.15), (2.43), (2.44) и (2.31).

Уравненията за статичните параметри са:

$$S_1 = Ted + Pad Tad + (1 - Pad)[Pid Tid + (1 - Pid)[Tcd + Pis Tis + (1 - Pis)[Pns Tns + (1 - Pns)[Tcs + 2Tb]]]] \quad (3.11)$$

$$S_2 = (1 - Pad)(1 - Pid)(1 - Pis)(1 - Pns)[2Tb - Tbr] \quad (3.12)$$

$$S_3 = (1 - Pad)(1 - Pid)[Pis Tis - Tbs + (1 - Pis)[Pns Tns + (1 - Pns)[Tcs + 2Tb]]] \quad (3.13)$$

$$S_{1z} = Pis Tis + (1 - Pis)[Pns Tns + (1 - Pns)(Tb + Tcs)] \quad (3.14)$$

$$S_{2z} = (1 - Pis)(1 - Pns)(Tb - Tbr) \quad (3.15)$$

$$R_1 = Pad Pr ad + (1 - Pad)(Pid Pr id + (1 - Pid)[Pis Pr is + (1 - Pis)(Pns Pr ns + (1 - Pns)Q)]) \quad (3.16)$$

$$R_2 = (1 - Pad)(1 - Pid)(1 - Pis)(1 - Pns)(Pr br - Q) \quad (3.17)$$

$$R_3 = (1 - Pad)(1 - Pid)\{Pr bs - [Pis Pr is + (1 - Pis)[Pns Pr ns + (1 - Pns)Q]]\} \quad (3.18)$$

където:

$$Q = Par Pr ar + (1 - Par)[Pac Prac + (1 - Pac)Prcc] \quad (3.19)$$

Трета глава:

Задачи за оразмеряване и реоразмеряване на мрежи (ЗОМ/ЗРОМ)

3.1. Въведение

Един от главните проблеми, които често трябва да бъдат решени от операторите на телекомуникационни услуги, е да се определи обема на телекомуникационните ресурси, така че той да е достатъчен за обслужване на определен входящ поток от заявки, при предварително уточнени характеристики на качество на обслужване (QoS). Целта е потребителят да остане доволен от предоставяната му услуга, при договорената цена.

Въз основа на наличната литература се разглежда общата формулировка на проблема с оразмеряването и видовете задачи по отношение на дългосрочността на планирането на капацитета на разглежданите телекомуникационни мрежи (от часове до години).

3.2. Формулировка на задачата за оразмеряване на мрежи (ЗОМ):

Да бъде оразмерена мрежа означава да бъде осигурен необходимият брой еквивалентни вътрешни съединителни линии (N_s) в комутационната система, които да са достатъчни за да се осигури предварително определеното ниво на качество на обслужване.

Цели: При определяне на проектните стойности на броя на вътрешните съединителни линии ($dsn.N_s$), за *целеви параметър* при оразмеряване на мрежи се използва вероятността за блокиране (Pbs) на повикванията, поради недостиг на съоръжения. Този параметър представлява важен критерий за ниво на качеството на обслужване (GoS-параметър). В една добре оразмерена мрежа, нивото на блокировка поради недостиг на съоръжения не трябва да надхвърля предварително определеното ниво на качество на обслужване, т.е. целевата стойност за блокировка ($trg.Pbs$). Целевата стойност ($trg.Pbs$) на вероятността за блокировка поради недостиг на съоръжения е административно предварително определена в т.нар. *Договор за ниво на качество на предоставяната услуга* (SLA – Service Level Agreement) [Iversen, 2008], [ITU-T E.860, 2002], [ITU-T E.801, 1996], [ITU-T E.802, 2007].

В настоящото изследване са разгледани два от общо трите типа задачи за оразмеряване: Задача за оразмеряване на мрежи (ЗОМ), представляваща оразмеряване в дългосрочен план и такава в средносрочен план, за повторно оразмеряване, наречена Задача за реоразмеряване на мрежи (ЗРОМ). Връзките между дейностите при тези задачи са представени в схема в [ITU E.734, 1996].

Разработеният, в настоящата работа, подход може да се приложи при всички задачи за планиране на капацитета на мрежи от разглеждания тип.

Основни допускания в математическия модел на задачите за оразмеряване на мрежи.

Работи се със средните стойности на трафичните параметри, без това да ограничава общността на разглежданията, въз основа на допускане А-8 (т. 2.3.2.1) и следните съображения: **1.** Формулата на Литъл, която е основно използваната в тази глава, не зависи от разпределенията на величините, което позволява да се работи със средни стойности на параметрите; **2.** Формулите за определяне на вероятността за блокировки, на Поасон, Енгсет, В и С-формулите на Ерланг и др. използват само средните стойности на входните величини, отчитайки приетите им разпределения; **3.** Броят на проектните съединителни линии се търси като цяло число, а не като интервал или случайна величина.

В много от задачите на телетрафичното инженерство (Teletraffic Engineering – ТЕ), особено при проектиране на телекомуникационна система, се налага използване на повече от една различни стойности за даден параметър в едно разглеждане, дори и в математическите изрази.

В тази глава са класифицирани използваните параметри на системните и базови кортежи въз основа на шестте начина за определяне на стойностите им и са предложени съответни означения (представки-квалификатори), съобразени с настоящата терминология на ITU-T.

В Таблица 1 са дадени префиксите, които се използват в настоящата работа. Показана е необходимостта и е въведено ползването на два последователни квалификатора, когато е необходимо. Например за проектния предложен трафик, за да може да се различава от емпиричния предложен трафик *emp.ofr.Ys*, използваме *dsn.ofr.Ys*, когато двете означения се ползват в един аналитичен израз.

Таблица 1. Означения на параметричните стойности, според начина на намиране на стойностите им.

Произход на стойностите	Наименование на английски	Използван префикс-квалификатор
Емпирична стойност (първична или изведена)	empirical	emp.
Стойности, въз основа на допускане	assumption	ass.
Целеви стойности	target	trg.
Прагови стойности	threshold	thr.
Административни стойности	administrative	adm.
Проектни стойности	designed	dsn.
Тестови стойности	test	test.

Използването на предложената система за означаване на квалифицираните параметри, позволява в един израз да се използват стойности на един параметър, но получени по различно време и различен начин, например емпирични и проектни, което е често срещано в задачите по оразмеряване. Освен това, едни и същи мнемонични имена могат да се използват в текстовете на научните публикации, аналитичните изрази и компютърните програми. Това значително облекчава четивността, разбираемостта и проверката на резултатите, което напълно компенсира необходимостта от по-дълги имена.

Основни параметрични зависимости, свързани с интензивността на трафика

При решаване на задачите за оразмеряване на мрежи се използват измерени стойности на различни параметри (от действаща система). Сред тях има лесноизмерими параметри и такива, които са трудноизмерими ("hard-to-reach data") [ITU-T E.360.1, 2002].

Намирането на емпирични стойности на трудноизмерими параметри, необходими при оразмеряването на телекомуникационна мрежа, трябва да бъде основано на минимален брой зависимости от лесноизмерими

параметри, поради неудобствата и затрудненията при работа на телекомуникационната система по време на измервания. Лесноизмерими параметри в телекомуникационна система са, например, интензивността на пренесения трафик и общата честота (интензивността) на постъпващите опити за повикване.

Обосновават се три допускания (А-15 – А-17), направени при реоразмеряването – при всяка съвкупност от стойности на емпиричния и на съответния проектен системни кортежи на разглежданата телекомуникационна мрежа, след изменение на броя на съединителните линии: 1) броят на терминалите $emp.Nab = adm.Nab = dsN.Nab = Nab$ и интензивността на потока от опити за повикване от един свободен терминал $emp.Fo = dsN.Fo = Fo$ остават същите; 2) обобщените параметри $S_1, S_2, S_3, R_1, R_2, R_3, S_{1z}, S_{2z}$ също запазват стойностите си, тъй като са сравнително независими от състоянието на системата. Подобни допускания се правят при повечето известни методи за оразмеряване/реоразмеряване. Те не ограничават общността на методите за оразмеряване, както и на предлагания от нас подход.

3.3. Задача за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи

Задачата за оразмеряване на мрежи има следните цели и подзадачи:

Цел:

Да се определи необходимия брой съединителни линии в мрежа, така че да се постигне и поддържа определено, отнапред договорено с потребителите, качество на обслужване.

Подзадачи:

1) Намиране проектните стойности на параметри чрез емпирични стойности на лесноизмерими величини (напр. $cr. Ys$ и др.), които описват проектосъстоянието на мрежата (и са определящи за изчисляването на проектния брой съединителни линии, напр. $ofr. Ys$);

2) На основата на изчислените проектни стойности на параметрите да бъде намерен проектния брой съединителни линии ($dsN.Ns$), необходим за обслужването на проектния предложен трафик.

Параметри в задачата за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи

Поведението на потребителите, в разглеждания модел за оразмеряване се описва със следните параметри: интензивност на поискания поток от

един свободен терминал F_0 , вероятностите за загуби, вероятностите за постъпване на повторни повиквания, след неуспешен за обслужване и средната продължителност на заемане на отделните устройства от заявките.

Изведени са зависимости, които позволяват посредством възможно най-малък брой лесноизмерими динамични величини ($emp.crr.Ys$, $emp.Pbs$), стойности на административно определени параметри ($adm.Nab$ и M) и осемте обобщени статични параметри ($S_1, S_2, S_3, R_1, R_2, R_3, S_{1z}, S_{2z}$), да бъдат изчислявани стойностите на интензивността на поискания поток, генериран от един свободен терминал.

Твърдение 3.5: Емпиричната стойност на Pbr удовлетворява уравнението (3.32) с условието (3.33)

$$APbr^2 + BPbr + C = 0 \quad (3.32)$$

$$Pbr \in [0; 1],$$

където

$$\begin{aligned} A &= (1 - Pad)(1 - Pid)(1 - Pbs)(Nab - 1)S_{2z}, \\ B &= (1 - Pbs)(1 - Pad)(1 - Pid)[S_{2z} - S_{1z}(Nab - 1)] - crr.Ys(1 - Pbs)S_2, \\ C &= crr.Ys(S_1 - S_3Pbs) - (1 - Pad)(1 - Pid)(1 - Pbs)S_{1z}. \end{aligned} \quad (3.33)$$

В **Твърдение 3.5** е доказано, че ако една стойност на Pbr е емпирична и $Pbr \neq 0$ (т.е. $1 \leq Yab \leq Nab$), то тя удовлетворява уравнение (3.32). Ако $0 \leq Yab \leq 1$ и в съответствие с уравнение (3.5), следва че $Pbr = 0$.

В Твърдение 3.6 и 3.7 са доказани съществуване и единственост на решение $Pbr \in [0; 1]$ на уравнение (3.32) с коефициенти, изразени чрез (3.33) и са изведени аналитичните условия за това (Твърдение 3.7).

Определяне на F_0 като вторична емпирична величина

Твърдение 3.9: Параметърът F_0 на поискания поток, генериран от един свободен терминал при $Pbr \neq 0$ удовлетворява зависимостта

$$F_0 = \frac{crr.Ys [(1 - R_1 - R_3 Pbs)S_{2z} - R_2\Omega]}{(1 - Pad)(1 - Pid)Ts[(1 - Pbs)S_{2z}(Nab + M) + M(Nab - 1)\Omega]} \quad (3.36)$$

където $\Omega = (1 - Pbs)S_{2z}Pbr$. При $Pbr = 0$ е в сила

$$Fo = \frac{crr.Ys [1 - R_1 - R_3 Pbs]}{(1 - Pad)(1 - Pid)(1 - Pbs)S_{1z}Nab + M(S_1 - S_3 Pbs)crr.Ys} \quad (3.37)$$

Изведждането на зависимостите е направено въз основа на параметри, леснодостъпни за измерване, в сравнително кратък наблюдаван интервал, и то в една точка на мрежата (*emp.Pbs*, *emp.crr.Ys*), както и въз основа на параметри, които по направените предположения се разглеждат като сравнително постоянни. Това улеснява решението на задачите за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи.

Намиране на проектни стойности на параметри в задачата за оразмеряване на мрежи (ЗОМ)

Въз основа на входящия поток, генериран от един свободен терминал *emp.Fo*, целевия параметър за ниво на качество за обслужване *trg.Pbs* и направените допускания, са определени проектните стойности на някои от неизвестните параметри (като *dsn.Pbr* и *dsn.Yab*) и на предложени трафик *dsn.ofr.Ys*.

Известни параметри: Целеви параметър: *trg.Pbs*, със стойности, определени от мрежовата администрация и параметри с прогнози, предполагаеми административно и емпирично уточнени стойности: *Fo*, *Nab*, *S₁*, *S₂*, *S₃*, *R₁*, *R₂*, *R₃*, *S_{1z}*, *S_{2z}*.

Неизвестни проектни параметри: *dsn.Pbr*, *dsn.ofr.Ys*, *dsn.Ns*, *dsn.Pbs*

Условие: $dsn.Pbs \leq trg.Pbs$, където $dsn.Pbs = Erl_b(dsn.Ns, dsn.ofr.Ys)$.

Твърдение 3.16: Уравнението, което *dsn.Pbr* удовлетворява при обобщен ВРР поток за $Fo \neq 0$, е

$$A(dsn.Pbr)^2 + B dsn.Pbr + C = 0, \quad (3.44)$$

$$\text{където } A = (Nab - 1)(1 - trg.Pbs)(FoMS_2 - R_2) \quad (3.45)$$

$$B = (Nab - 1)[1 - R_1 - R_3 trg.Pbs - FoM(S_1 - S_3 trg.Pbs)] + (1 - trg.Pbs)[FoS_2(Nab + M) - R_2]$$

$$C = (1 - R_1 - R_3 trg.Pbs) - Fo(Nab + M)(S_1 - S_3 trg.Pbs)$$

Твърдение 3.17: Проектната стойност на *dsn.ofr.Ys* може да бъде изчислена при допусканията и условията на ЗОМ посредством

$$dsn.ofr.Ys = \frac{(1 - Pad)(1 - Pid)[1 + dsn.Pbr(Nab - 1)](S_{1z} - S_{2z} dsn.Pbr)}{S_1 - S_2(1 - trg.Pbs)dsn.Pbr - S_3 trg.Pbs} \quad (3.53)$$

при $thr.Fo < Fo$

$$dsn.ofr.Ys = \frac{(1 - Pad)(1 - Pid)S_{1z} FoNab}{1 - R_1 - R_3 trg.Pbs - FoM(S_1 - S_3 trg.Pbs)} \quad (3.54)$$

при $Fo \leq thr.Fo$.

От $dsn.ofr.Ys$ директно може да се определи необходимия проектен брой съединителни линии $dsn.Ns$ чрез уравнението

$$Erl_b(dsn.Ns, dsn.ofr.Ys) = trg.Pbs, \quad (3.30)$$

където $Erl_b(dsn.Ns, dsn.ofr.Ys)$ е В-формулата на Ерланг, дефинирана с (3.21). Използва се числено обръщане на известната В-формула на Ерланг, което е описано в Глава 4.

3.4. Заключение към Глава 3:

Въз основа на наличната литература е разгледана общата формулировка на проблема с оразмеряването и видовете задачи по отношение на дългосрочността на планирането на капацитета на разглежданите телекомуникационни мрежи (от часове до години).

Класифицирани са използваните параметри въз основа на шесте начина за определяне на стойностите им, използвани в тази глава (емпирични (първични и вторични), целиви, административни, допуснати, прагови и проектни) и са предложени съответни означения (представки-квалифицикатори), съобразени с настоящата терминология на ITU-T. Показана е необходимостта и е въведено ползването на два последователни квалифицикатора.

Обосновават се три допускания (A-15 – A-17), направени при оразмеряването на мрежи.

Изведени са зависимости, които позволяват да се определят стойностите на: входящия поток, генериран от един свободен терминал; вероятността за попадане на зает В-терминал. Това е направено въз основа на параметри, леснодостъпни за измерване, в сравнително кратък наблюдаван времеви интервал, и то в една точка на мрежата.

Въз основа на входящия поток, генериран от един свободен терминал са определени проектните стойности на някои от неизвестните параметри

(*dsn.Pbr*, *dsn.Yab*, *dsn.Fa*, *dsn.dem.Fa*, *dsn.rep.Fa*, *dsn.ofr.Ys*, *dsn.crr.Ys*, *dsn.Ya*, *dsn.Yb*, *dsn.Ta*, *dsn.Ts*).

Всички изведени зависимости в Глава 3 важат за целия теоретичен допустим интервал на участващите параметри и са изследвани за съществуване и единственост на решенията. Те са формулирани и доказани в 22 твърдения и 15 следствия.

3.5. Основни приноси към Глава 3:

Разработен е аналитичен подход (изведени аналитични зависимости) за оразмеряване на телекомуникационни мрежи в цялост с комутация на канали при детайлно отчитане на потребителското поведение, който позволява съвместното прилагане на двете дефиниции за предложен трафик на ИТУ; използването на обобщен ВРР модел на входящия поток от първични повиквания при краен брой терминали; показана е необходимостта и е въведено ползването на два последователни квалификатора на параметър(и) за целите на проектирането. Предложеният подход за намиране на броя на съединителните линии, може да се използва в максималния допустим теоретичен интервал на входните параметри и гарантира целевото качество на обслужване.

Резултатите, описани в Глава 3, са публикувани в: [Poryazov, Saranova, 2006-03], [Saranova 2006-04], [Saranova, Poryazov, 2009-01], [Saranova, 2008-01], [Saranova, 2008-02].

Четвърта глава:

Числени резултати и сравняване с общоприети методи

4.1. Въведение

В четвърта глава са предложени за разглеждане числени зависимости в целия теоретичен интервал на основни параметри, използвани за оразмеряване на телекомуникационни мрежи. Резултатите от числените експерименти са анализирани и представени графично.

Разработен е аналитичен метод и алгоритъм за намиране на броя на съединителните линии, гарантиращ целево качество на обслужване, основаващ се на цялостно разглеждане на телекомуникационна система и детайлно отчитане поведението на потребителите. Аналитично е доказано съществуване и единственост на решение на Задачата за оразмеряване/реоразмеряване. Предложен е алгоритъм за изчисляване на

вторичните емпирични и проектни параметрични стойности, въз основа на разработения от нас аналитичен модел в Глава 3 на настоящия дисертационен труд. Представени са числени резултати от изследването на необходимия проектен брой съединителни линии, които са графично изобразени.

Разработен е метод на количествено сравняване (тестване) на методи за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи и е направена компютърна програма. Числените резултати от прилагането на предложения метод за количествено сравняване (тестване) на методите за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи на ITU E.501-1, Cisco-1, Cisco-2, ITU E.501-2 и предложения от нас метод са анализирани и графично представени.

4.2. Числени зависимости между основните параметри, използвани за оразмеряване на телекомуникационни мрежи.

В тази глава се разглеждат числени зависимости в целия теоретичен интервал на проектните стойности между основните параметри, използвани за оразмеряване на телекомуникационни мрежи относно поискания поток, генериран от един свободен терминал F_0 и вероятността за блокировка поради недостиг на съоръжения P_{bs} . Представени са графично количествените зависимости на единадесет параметъра, които са проектни в задачата за оразмеряване на мрежи: $dsn.Pbr$, $dsn.Yab$, $dsn.Fa$, $dsn.dem.Fa$, $dsn.rep.Fa$, $dsn.ofr.Ys$, $dsn.crr.Ys$, $dsn.Ya$, $dsn.Yb$, $dsn.Ta$, $dsn.Ts$ като функция на F_0 и P_{bs} . Анализирани са графиките в целия теоретичен интервал. Част от резултатите са съпоставени с публикуваните. За останалите няма аналози.

Числените резултати, които са получени, са на основата на следните стойности на известни параметри (които са за обществената комутируема телефонна мрежа, без това да ограничава съществено общността на разглежданията): $Ted = 3$ sec, $Pad = 0.09$, $Tad = 5$ sec, $Prad = 0.95$, $Pid = 0.01$, $Tid = 11$ sec, $Prid = 0.1$, $Tcd = 12$ sec, $Tbs = 5$ sec, $Pis = 0.01$, $Tis = 5$ sec, $Pris = 0.01$, $Prbs = 0.82$, $Pns = 0.01$, $Tns = 6$ sec, $Prns = 0.3$, $Tcs = 5$ sec, $Tbr = 5$ sec, $Prbr = 0.8$, $Par = 0.15$, $Tar = 45$ sec, $Prar = 0.75$, $Tcr = 10$ sec, $Pac = 0.2$, $Tac = 13$ sec, $Prac = 0.9$, $Tcc = 180$ sec, $Prcc = 0.01$, $Tb = 139.07$ sec, $M=0$, а стойността на Nab е посочена при всяко използване.

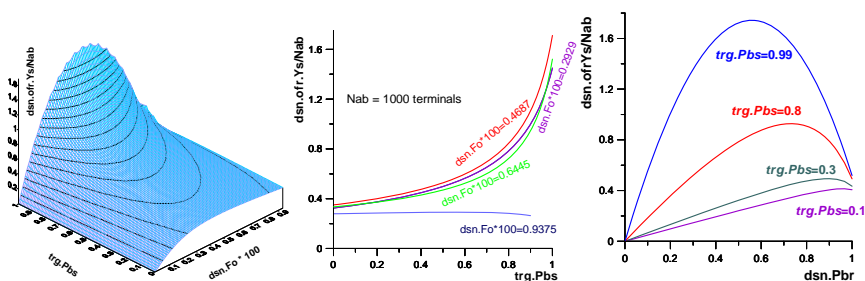
Създадени са компютърни програми на FORTRAN 90, реализиращи числените методи за изчисляване на резултатите, представени в тази глава,

по изведените в Глава 3 аналитични зависимости. Те включват 12 подпрограми, които имат за вход и изход ASCII файлове. Приложенияте чертежи са получени посредством външни специализирани визуализиращи програми.

За минимална стойност на Pbs е приета 10^{-7} , защото при компютърно изчисляване на някои от параметрите (от глава 3) при по-малки стойности се получава препълване. Праговата стойност $thr.Fo = 0.2543 \cdot 10^{-5}$ се изчислява от (2.39) на следствие 2.10.1, като $thr.dsn.Fo \neq thr.emp.Fo$ (Твърдение 3.10, Глава 3). Най-малката стойност $\min Fo = 0.1 \cdot 10^{-8}$, която е избрана за целите на визуализация на резултатите, представлява $0.5 \cdot 10^{-3}$ от стойността на $thr.Fo$ (т.е. е 2000 пъти по-малка от $thr.Fo$). Най-голямата проектна стойност $\max Fo = 0.00937524$ се изчислява от Следствие 2.11.1. Направени са числени експерименти при Nab между 1000 и 7000 терминала, като конкретните стойности са показани при всеки чертеж.

Проектни нормирани стойности на интензивност на предложения трафик $dsn.ofr.Ys$

Изчисляват се от равенства (3.68) и (3.69) и са представени графично на Фиг. 4.6.



Фиг. 4.6. Проектните нормирани стойности на интензивността на предложения трафик $dsn.ofr.Ys / Nab$ [Erl] в целия теоретичен интервал относно поискания поток, генериран от един свободен терминал $dsn.Fo$ и вероятността за блокировка поради недостиг на съоръжения $trg.Pbs$ при $Nab = 1000$ терминала.

Числени резултати: Когато $\min Fo \leq dsn.Fo \leq \max Fo$ и $10^{-7} < trg.Pbs \leq 1$, тогава $1.862741 \cdot 10^{-5} < dsn.ofr.Ys / Nab \leq 1.71295$. Най-голямата относителна стойност е $\max (dsn.ofr.Ys / Nab) = 1.712195$ и се достига за $dsn.Fo = 0.00468767$ и $trg.Pbs = 1$. Най-малката относителна стойност $\min (dsn.ofr.Ys / Nab) = 1.8627 \cdot 10^{-5}$ се достига за $\min.Fo$ и $trg.Pbs = 10^{-7}$.

Заключение към точка 4.2:

1. Създадени са компютърни програми, реализиращи числени пресмятания, по изведени в Глава 3 аналитични зависимости.

2. Анализът на количествените резултати показва взаимна съгласуваност на стойностите на всички представени проектни параметри и може да се счита за числена верификация на аналитичните зависимости и съответните компютърни програми.

3. Графиките, представени с нормирани стойности, не зависят пряко от броя на съединителните линии и могат да се използват за бърза ориентация при проектиране и управление на клас от телекомуникационни мрежи от разглеждания тип.

В Глава 4 е направено изследване за предложените и достъпни начини за изчисляване в диалогов режим (On-line) по формулите на Ерланг (и численото им обръщане).

4.3. Аналитичен метод и алгоритъм за намиране на броя на съединителните линии

Разработен е аналитичен метод и алгоритъм за намиране на броя на съединителните линии, гарантиращ целево качество на обслужване, основаващ се на цялостно разглеждане на телекомуникационна система и детайлно отчитане поведението на потребителите.

Права и обратна В-формула на Ерланг.

Предпочетеното при изчисленията от нас е рекурсивното представяне на разширената В-формула на Ерланг (4.2), която се прилага при фиксирани стойности на $ofr.Ys$ (каквито са проектните $dsn.ofr.Ys$). Представена е в [Iversen, 2010 – т. 4.5]:

$$Erl_b(Ns, ofr.Ys) = \frac{ofr.Ys \ Erl_b(Ns-1, ofr.Ys)}{Ns + ofr.Ys \ Erl_b(Ns-1, ofr.Ys)}, \quad (4.2)$$

при $Erl_b(0, ofr.Ys) = 1$.

За предпочитане е линейното ѝ представяне (4.3)

$$I(Ns, ofr.Ys) = 1 + \frac{Ns}{ofr.Ys} I(Ns-1, ofr.Ys), \quad (4.3)$$

при $I(0, ofr.Ys) = 1$,

където $I(Ns, ofr.Ys) = [Pbs(Ns, ofr.Ys)]^{-1}$ при фиксирани стойности на $ofr.Ys$.

Формулата (4.3) се счита за най-стабилна от гледна точка на числени сметки. Тя е "точна дори и за големи стойности на броя на съединителните линии Ns и голям предложен трафик $ofr.Ys$, и няма грешки от закръгление" [Iversen, 2010].

Аналитични резултати за обратната формула на Ерланг

За намиране на необходимия брой съединителни линии в ЗОМ/ЗРОМ използваме числено намиране на $dsn.Ns$, така че да е изпълнено

$$Erl_b(dsn.ofr.Ys, dsn.Ns) = trg.Pbs \quad (4.4)$$

Или, по-точно, използваме обратната функция на Ерланг:

$$dsn.Ns = inv.Erl_b(dsn.ofr.Ys, trg.Pbs) \quad (4.5)$$

Аналитично е доказано съществуване и единственост на решение на Задачите за оразмеряване и реоразмеряване на мрежи (ЗОМ/ЗРОМ).

Твърдение 4.1: Функцията на Ерланг (3.21), представена чрез (4.3), е строго намаляваща относно Ns .

Твърдение 4.2: Съществува решение на уравнението (4.4) на задачата за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи спрямо броя на вътрешните съединителни линии Ns . Решението е единствено.

Въз основа на предложения от нас аналитичен модел в Глава 2 и 3 на настоящия дисертационен труд е разработен: **Алгоритъм за изчисляване на проектните стойности на параметрите, необходими за намиране на необходимия брой съединителни линии** [Saranova, 2006-04], който се състои от осем обобщени стъпки. Изчисляване на:

Стъпка 1: Вероятност за попадане на зает В-терминал $dsn.Pbr$, изчислена чрез равенства (3.40), (3.44), и Твърдения 3.12-3.14, 3.16 от т. 3.3.4.1. на глава 3;

Стъпка 2: Проектната интензивност на трафика, генериран от А и В терминали $dsn.Yab$, изчислена чрез равенства (3.57), (3.58) на Твърдение 3.19 и (3.59) на следствието към твърдението;

Стъпка 3: Проектната интензивност на входящия поток ($dsn.Fa$), изчислена чрез равенства (3.60) и (3.61) на Твърдение 3.20;

Стъпка 4: Проектната интензивност на потока от първични повиквания ($dsn.dem.Fa$), изчислена чрез равенство (3.62) и (3.63) следствие 1 на Твърдение 3.20;

Стъпка 5: Проектната интензивност на потока от повторни повиквания ($dsn.rep.Fa$), изчислена чрез равенства (3.64) и (3.65) следствие 1 на Твърдение 3.20;

Стъпка 6: Проектната интензивност на предложения, на комутационната система, поток ($dsn.ofr.Fs$), изчислена чрез равенства (3.66) и (3.67) на следствие 1 на Твърдение 3.20;

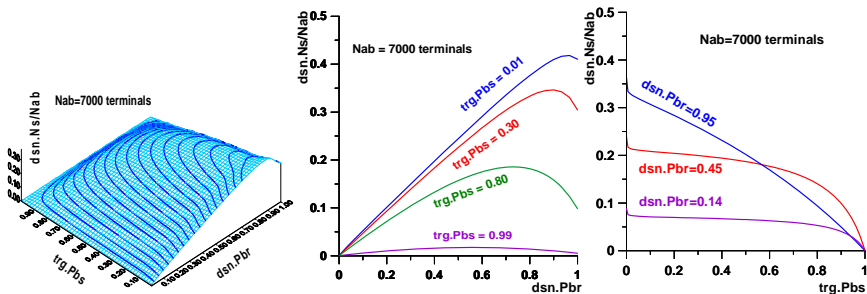
Стъпка 7: Интензивност на предложения трафик $dsn.ofr.Ys$, изчислена чрез равенства (3.68) и (3.69) на Твърдение 3.21.

Стъпка 8: Изчисляват се стойностите $dsn.Ns$, (чрез уравнение (4.5)), използвайки намерените проектни стойности на $dsn.ofr.Ys$. Направена е компютърна програма за намиране броя на еквивалентните вътрешни съединителни линии, съдържаща пет подпрограми.

На основата на алгоритъма са разработени компютърни програми и са представени числените резултати от изследването на необходимия проектен брой съединителни линии и други параметри, които са графично изобразени.

Графично представяне на числените резултати за $dsn.Ns$

На Фиг. 4.12 е показана зависимостта на проектния брой съединителни линии, необходим за обслужване на проектния предложен трафик $dsn.ofr.Ys$ при определено качество на обслужване $trg.Pbs$ и проектната вероятност за попадане на зает В-терминал $dsn.Pbr$



Фиг. 4.12. Проектни нормирани стойности на необходимия брой съединителни линии $dsn.Ns / Nab$ в целия теоретичен интервал относно вероятността за попадане на зает В-терминал $dsn.Pbr$ и вероятността за блокировка поради недостиг на съоръжения $trg.Pbs$ при $Nab = 7000$ терминала.

За $dsn.Pbr \in [0; 1]$ и $trg.Pbs \in [10^{-8}; 0.99999]$ проектните стойности на $dsn.Ns / Nab \in (1.4285 \cdot 10^{-4}; 0.387857)$ при $Nab = 7000$ терминала. Най-голямата стойност $\max dsn.Ns = 2714$, т.е. $\max dsn.Ns / Nab = 0.38785$, се достига за $dsn.Pbr = 0.88312$ и $trg.Pbs = 10^{-8}$.

Извод: Необходимият брой съединителни линии за обслужване на определен предложен трафик е най-голям, когато целевата блокировка $trg.Pbs$ (поради недостиг на съединителни линии) е възможно най-малка, а вероятността за попадане на зает В-терминал е много голяма – от порядъка на 88%. Такива случаи са описани в литературата [Iversen, 2008], например, случаите при извънредни обстоятелства, природни бедствия и други.

4.4. Метод на количествено сравняване (тестване) на методи за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи

Введено, дефинирано и съществено използвано е понятието "индикативна точка". Това е точката, в която стойностите на емпиричната и целевата вероятност за блокировка съвпадат. Точката е показателна (индикативна) за правилността на използвания метод за оразмеряване. Ако методът е правилен, проектната (включително тестовата), емпиричната и целевата стойности трябва да съвпадат, в индикативната точка. При правилен метод за оразмеряване, индикативната точка може да се използва за проверка на верността на компютърните програми, реализиращи метода.

Тестови параметрични стойности на:

Предложен трафик $test.ofr.Ys$: Изчисляват се посредством компютърна програма относно Pbs и $test.Fo$ в целия теоретичен интервал, като $test.Fo \in [\min Fo; \max Fo]$ и $Pbs \in (0;1]$, където $\min Fo = 10^{-7}$ и $\max Fo = 0.00937524$. С отделни подпрограми се изчислява и $\max Fo$ и $thr Fo$. Ако $Fo \leq thr.Fo$, за $test.ofr.Ys$ се използва равенство (3.69), респективно, за $thr.Fo < Fo$ се използва (3.68).

Вероятност за блокировки $test.Pbs$: Изчисляват се посредством компютърна програма за всеки от разглежданите методи (когато предложеният трафик е изчислен в съответствие с ITU E.600, ITU E 501, Cisco или предложения от нас метод).

Използва се равенството

$$test.Pbs(dsn.Ns, test.ofr.Ys) = Erl_b(dsn.Ns, test.ofr.Ys), \quad (4.11)$$

където $test.ofr.Ys$ е тестов предложен трафик за изследваната телекомуникационна система и $dsn.Ns$ е проектният брой на съединителните линии за обслужване на предложен трафик, а $Erl_b(ofr.Ys, Ns)$ е формулата на Ерланг. При прилагане на всеки един от разгледаните методи за оразмеряване/реоразмеряване, се получават различни стойности за $dsn.Ns$, респективно за $test.Pbs$.

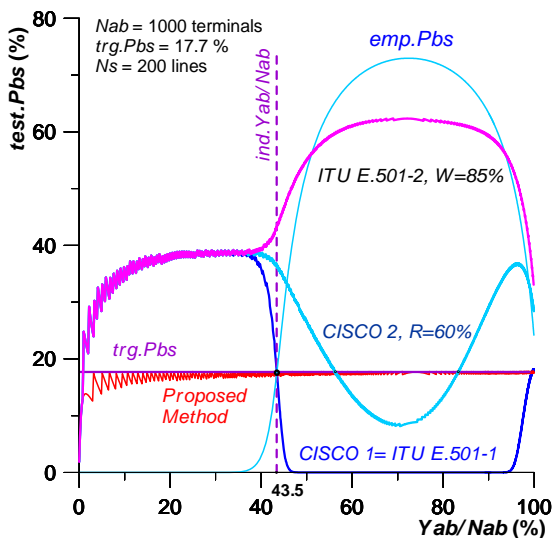
Резултатите от различните методи за оразмеряване се сравняват на основата на тестовите стойности на вероятността за блокировки $test.Pbs$.

Числени резултати от количественото сравняване (тестване) и анализа им

Направена е компютърна програма за количествено сравняване (тестване) на методите. Числените резултати от прилагането на предложеният метод за количествено сравняване (тестване) на методите за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи на ITU-1, Cisco-1, Cisco-2, ITU-2 и предложеният от нас метод (Proposed method) са анализирани и графично представени на Фиг. 4.13.

1. Точност на получените резултати (изчислителната процедура) и метода:

А) Влияние на допускането за дискретност на съединителните линии. Допускането за дискретност на съединителните линии се отразява на точността на всеки от разгледаните методи за оразмеряване.



Фиг. 4.13. Вероятността за блокировки поради недостиг на съоръжения относно нормираното натоварване на системата Yab/Nab . Представени са тестови стойности $test.Pbs$ на ITU-1, Cisco-1, Cisco-2, ITU-2 и предложения от нас метод (Proposed method). С $ind.Yab/Nab$ е означено нормираното проектно натоварване на системата, в индикативната точка. Целевата вероятност за блокировки поради недостиг на съоръжения е $trg.Pbs$, а емпиричната е $emp.Pbs$.

Очевидно, в най-лявата част на теоретичния интервал, влиянието на дискретността на съединителните линии е по-голямо. Това е неизбежна методическа грешка вследствие от дискретността на броя на съединителните линии.

Б) Точност на изчисления проектен брой съединителни линии $dsn.Ns$

Изчисленият необходим брой съединителни линии чрез предложения от нас метод е определен с точност до една линия. Резултатите са публикувани в [Saranova, Poryazov, 2010].

2. Чувствителност на разглежданите методи

Чувствителността на разглежданите методи се измерва с израза (4.13) от дисертацията. При методите CISCO-1 и ITU-1 тя средно не надвишава 0.33 %, чувствителността на предложения от нас метод – 0.71% и

чувствителността на методите CISCO-2 и ITU-2 0.64%, което показва, че чувствителностите на отделните методи са много близки.

Извод: Резултатите от сравняване на чувствителността на разглежданите модели, са сравними. Резултатите са публикувани в [Saranova, Poryazov, 2010-02]

3. Приложимост на методите в целия теоретичен интервал

А) Критерий за (тестване на) адекватността на полученото решение относно целта на ЗОМ (вж. неравенство (4.14)):

Сравняваме за каква част от теоретичния интервал е изпълнено неравенство (4.14) от дисертацията. За ITU-1 и Cisco-1, тази част е не повече от 48% от целия теоретичен интервал, е изпълнено неравенство (4.14), за Cisco-2 този процент е 28%, за предложеният от нас метод е 100%, а за ITU-2 (при препоръчителен коефициент между 60% и 90%), неравенство (4.14) е изпълнено от 0.6% до 28%.

Б) Критерий и интервали на приложимост

Ще изследваме тестовото разстояние (вж. (4.15)) и критерия за приложимост (вж. (4.16)) за всеки от разглежданите методи при допустимо отклонение $\delta = 5\%$. При методите ITU E.501-1 и CISCO-1 в под 3.41 % от теоретичния интервал е изпълнен критерия за приложимост (4.16), за ITU E.501-2 и CISCO-2, този процент е под 13.76 %, а при нашия метод този процент е 98.51 % от целия теоретичен интервал. Това не означава, че методът е неприложим в останалите 1.49%, а само че *test.Pbs* се различава с повече от $\delta = 5\%$ от целевата стойност, като тестовата стойност на *test.Pbs* е винаги по-малка от целевата. Това различие е следствие от влиянието върху *test.Pbs* на изменението с една съединителна линия, което е по-голямо от 5% при малки натоварвания.

Извод: Предложеният от нас метод за оразмеряване на мрежи е приложим в целия теоретичен интервал и сравнен с най-използваните методи в практиката дава по-добри резултати.

Резултатите са публикувани в [Saranova, Poryazov, 2008-03]

За изчисленията по всички методи се използват едни и същи изчислителни подпрограми, но при различни стойности на входните параметри. Това осигурява една и съща точност на изчисленията.

Извод: Различията в резултатите от различните методи за оразмеряване са вследствие концептуални различия между методите.

4.5. Заключение към четвърта глава

Разработен е аналитичен метод и алгоритъм за оразмеряване (намиране на броя на съединителните линии). Направени са числени експерименти. Числените резултати са тествани. Предложен е единен метод за количествено сравняване на числените резултати от предложението от нас метод и от общоприети методи за оразмеряване.

Предимства на предложението от нас метод:

1) оразмерява с точност до една линия за разлика от разгледаните общоприети методи, при които оразмеряването е с неточност, произтичаща не само от допускането за дискретност; 2) гарантира желаното ниво на качество на обслужване в над 98 % от целия теоретичен интервал за разлика от разгледаните общоприети методи, сред които най-високия процент (при Cisco-2) е под 13.76 %.

По-добрите резултати на предложението от нас подход за оразмеряване са вследствие на това, че: 1) разглежда цялостен трафикен модел на телекомуникационна система; 2) детайлно се отчита поведението на потребителите.

Недостатъци на предложението от нас метод:

1) Тъй като се основава на детайлно отчитане на поведението на потребителите, налагат се допълнителни измервания в сравнение с другите разгледани методи.

Числените резултати показват, че предложението от нас подход за оразмеряване на телекомуникационни мрежи гарантира най-високо качество на обслужване (QoS) в сравнение с останалите сравними методи.

4.6. Основни приноси в четвърта глава

1. Предложени са за разглеждане числени зависимости в целия теоретичен интервал на основни параметри, използвани за оразмеряване на телекомуникационни мрежи (относно поискания поток, генериран от един свободен терминал и целевата вероятност за блокировки поради недостиг на съоръжения). Разработена е компютърна програма, използваща предложението в Глава 3 аналитичен метод за изразяване на телетрафикните параметри при оразмеряване на телекомуникационни мрежи. Резултатите от числените експерименти са анализирани и представени графично.

2. Направено е изследване за предложените и достъпни начини за изчисляване в диалогов режим (On-line) по формулите на Ерланг (и обръщането им);

3. Предложен е аналитичен метод и алгоритъм за намиране на броя на съединителните линии, гарантиращ целево качество на обслужване, основаващ се на цялостно разглеждане на телекомуникационна система и детайлно отчитане поведението на потребителите. Аналитично е доказано съществуване и единственост на решение на ЗОМ/ЗРОМ. Предложен е алгоритъм за изчисляване на вторичните емпирични и проектни параметрични стойности, въз основа на предложения от нас аналитичен модел в Глава 2 и 3 на настоящия дисертационен труд. Представени са числени резултати от изследването на необходимия проектен брой съединителни линии, които са графично представени.

4. Изследвани са някои от общоприетите и използвани методи за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи, с които са сравнявани резултатите от предложения от нас метод. Изследвани са достъпни начини за числено оразмеряване/реоразмеряване на мрежи, включително съществуващи компютърни програми.

5. Предложен е метод на количествено сравняване (тестване) на методи за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи. Въведено, дефинирано и съществено използвано е понятието "индикативна точка". Направена е компютърна програма за количествено сравняване (тестване) на методите. Числените резултати от прилагането на предложения метод за количествено сравняване (тестване) на методите за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи на ITU-1, Cisco-1, Cisco-2, ITU-2 и предложения от нас метод са анализирани и графично представени.

В Глава 4 са формулирани и доказани 2 твърдения (за съществуване и единственост) и 1 следствие.

Резултатите от дисертационния труд, описани в Глава 4, са публикувани в: [Saranova, 2006-04], [Saranova, 2008-02], [Saranova, Poryazov, 2008-03], [Saranova, Poryazov, 2009-01], [Saranova, Poryazov, 2010-03].

III. ЗАКЛЮЧЕНИЯ И ОСНОВНИ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основни научни приноси, изложени в дисертацията и публикациите по дисертацията

1. Въз основа на съществуващите подходи за описание на състоянието на телекомуникационна мрежа са предложени **дефиниции на системен и базов кортежи**.

2. **Предложен е аналитичен подход за оразмеряване на телекомуникационни мрежи в цялост** с комутация на канали при детайлно отчитане на потребителското поведение, който позволява съвместното прилагане на двете дефиниции за предложен трафик на ITU; използването на обобщен BPP модел на входящия поток от първични повиквания при краен брой терминали; показана е необходимостта и е въведено ползването на два последователни квалификатора на параметър(и) за целите на проектирането. Предложеният подход за намиране на броя на съединителните линии, може да се използва в максималния допустим теоретичен интервал на входните параметри и гарантира целевото качество на обслужване.

3. **Предложен е алгоритъм за изчисляване на вторичните емпирични и проектни параметрични стойности, въз основа на предложения от нас аналитичен модел в настоящия дисертационен труд.** Аналитично е доказано съществуване и единственост на решение на Задачата за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи. Разработени са алгоритми и компютърни програми за използване на **предложения подход**, които позволяват числена верификация на резултатите от оразмеряването и използване на други разпространени методи за целите на сравнение с предложения метод. **Направен е числен анализ и данните са представени графично** основните зависимости между параметрите, използвани за оразмеряване на телекомуникационни мрежи и на изменението на целевите параметри;

4. **Предложен е метод за числена верификация и количествено сравняване (тестване) на методи за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи.** Въведено, дефинирано и съществено използвано е понятието "индикативна точка". Направена е компютърна програма за количествено сравняване (тестване) на методите. Числените резултати от прилагането на

предложения метод за количествено сравняване (тестване) на методите за оразмеряване/реоразмеряване на мрежи на ITU-1, Cisco-1, Cisco-2, ITU-2 и предложения от нас метод са анализирани и графично представени. Резултатите показват, че предложеният от нас подход за оразмеряване на телекомуникационни мрежи гарантира най-високо качество на обслужване (QoS) в сравнение с останалите сравними методи.

Насоки за бъдещи изследвания:

На базата на обстояния анализ в дисертационния труд на моделите за оразмеряване на телекомуникационни мрежи, могат да се очертаят следните насоки за бъдещи изследвания:

1. Въвеждане на опашки, в които заявките чакат, при блокировка поради недостиг на мрежови съоръжения, или зает търсен терминал (системи с чакане). Това би се отразило в концептуалния модел, посредством добавяне на по едно базово виртуално устройство, пред двата блока "Enter Switch". В аналитичния модел трябва да се добавят по два нови динамични параметъра, за всяка опашка – време за чакане и брой на чакащите заявки, както и нови уравнения за тях, включващи, например С-формулата на Ерланг. Това не е направено в настоящата работа по следните причини: В реалните телекомуникационни системи опашките са с крайна дължина, което не би довело до качествена промяна на получените резултати; Системата уравнения, нейния анализ и съответните компютърни програми, биха се усложнили съществено, без това да промени, по същество, разработвания подход за оразмеряване.

2. Въвеждане на хетерогенни терминали, както и съответно на хетерогенен трафик. Това би увеличило съществено доближаването на разглежданите модели до реалните системи.

3. Моделиране на цялостния трафик в разпределени системи с взаимодействие на няколко различни телекомуникационни мрежи (например PSTN, ISDN, GSM, ATM, IP), които могат да се ползват и от един потребител, понякога и от един терминал. Това е важен въпрос, който се обсъжда в няколко от препоръките на ITU-T. Приложимостта на някои от подходите се сравнява на базата на мрежи, разположени на голяма територия, каквато е тази на САЩ ([ITU-T E.360.1, 2002], [ITU-T E.360.2, 2002], [ITU-T E.360.3, 2002], [ITU-T E.360.4, 2002], [ITU-T E.360.5, 2002], [ITU-T E.360.6, 2002], [ITU-T E.360.7, 2002]). Решаването на този въпрос е цел в работата по съвместните научно-изследователски проекти с ИППИ на РАН.

IV. СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Публикации, съдържащи елементи от дисертационния труд

Статии в международни издания, публикувани извън страната:

1. [Poryazov, Saranova, 2006-03] Poryazov, S., **Saranova, E.** Some General Terminal and Network Teletraffic Equations in Virtual Circuit Switching Systems. Editors: Nejat Ince, E. Topuz, Springer Sciences+Business Media, Chapter 24, LLC 2006, ISBN 0-387-32921-8, p. 471-505.
2. [Saranova, 2006-04] **Saranova, E.** Redimensioning of Telecommunication Network based on ITU definition of Quality of Services Concept, DCCN, Editors: V. Vishnevsky, H. Daskalova, Technosphaera publisher, Moscow, Russia, 2006, p. 165 – 179.
3. [Saranova, Poryazov, 2008-03] **Saranova, E.**, Poryazov, S. Verification Results for an ITU Network Redimensioning Method. DCCN, Editor: V. Vishnevsky, Technosphaera publisher, Moscow, Russia, 2008, ISBN: 978-5-901158-09-8, p. 137-145.
4. [Saranova, Poryazov 2009-01] **Saranova, E.**, Poryazov, S. Designed Probability Determination of Finding B-terminal Busy. DCCN, Editor: V. Vishnevsky, R&D Company "Information and Network Technologies", Moscow, Russia, 2009 ISBN 978-5-9901871-1-5, p.127-141.

Статии в международни издания, публикувани в България:

5. [Saranova, 2007-02] **Saranova, E.** Dimensioning of Telecommunication Network based on Quality of Services Demand and Detailed Behaviour of Users. Int. Journal Information Technologies and Knowledge, 2007, vol. 1, N2, ISSN 1313-0455, p.103 – 113.
6. [Saranova, 2008-01] **Saranova, E.** Traffic Offered Behaviour Regarding Target QoS Parameters in Network Dimensioning. Int. Journal Information Technologies and Knowledge, 2008, vol.2, ISSN: 1313-0455, p. 173 – 180.

7. [Saranova, 2008-02] **Saranova, E.** Primary and Secondary Empirical Values in Network Redimensioning. International Book Series "Information Science and Computing", ITHEA, 2008, vol.2, ISSN: 1313-0455, p. 53 – 59.

Статии в национални издания:

8. [Саранова, 2004-01] **Саранова, Е.** Дефиниране на обратната задача за човешкия фактор в теорията на терминалния трафик – статия в сборник на XXXIII Пролетна конференция на СМБ – Боровец, 1- 4 април 2004 стр. 459-465.
9. [Saranova, Poryazov 2010-03] **Saranova, E., Poryazov, S.** Two Cisco Methods for Offered Traffic Evaluation – Analysis and Numerical Comparison. Editor: T. Atanasova, Proceedings in "Modeling and Control of Information Processes", ИСТ-BAS, ИМИ-BAS, СТР, Sofia, 2010, ISSN: 1314-2771, p. 42-50.

Резултатите са докладвани също и на срещите на Управителния съвет на европейски проект COST 285 и работните срещи на общо 7 проекта, на семинари на ИПОИ-БАН (1), ИИТ-БАН (3), на семинари на ИМИ-БАН и КТП от 2002 година досега.

Проекти, в които са обсъждани и използвани резултати от дисертацията

- 1. 2002-2005** "New Models of Terminal Teletraffic in Circuit Switching Systems", contract with the Russian Academy of Sciences (Information Transmission Problems Institute). Участник в проекта от 2002 год.
- 2. 2003-2007** EU project COST 285 "Modelling and Simulation Tools for Research in Emerging Multi-service Telecommunications". Член на Управителния съвет на проекта от 2003 год.
- 3. 2002** – продължава досега. Информационно моделиране. Изследователски проект на БАН, ръководител: доц. д-р Ст. Порязов
- 4. 2004-2006** "Methods and Tools for Terminal Teletraffic Modelling in (Virtual) Channel Switching Systems". Joint research project with Dept. of Management Engineering, Beijing University of Posts&Telecom, China. This is 2nd Joint Research Project between Institute of Mathematics and Informatics (IMI) – BAS and UPT. Co-ordinator for China: Liang Xiong-Jian. Coordinator for Bulgaria is S. A. Poryazov. (Сигнатура на МОН: 10-10В)

5. **2006-2008** "Исследование структуры терминального трафика как основа оптимизации сетей связи", проект за съвместни изследвания между ИППИ РАН и ИМИ БАН. Ръководители: проф. дмн И. И. Цитович и ст.н.с. II ст. д-р С. А. Порязов.
6. **2008 – 2011** "Изследване на цялостния мрежови трафик, за задачите по оптимизация на телекомуникационните системи" Изследователски проект между ИППИ РАН и ИМИ БАН; Ръководители: проф. дмн Иван Цитович, ст.н.с. II ст. д-р Ст. Порязов;
7. **2009 – 2011** Проект Н-05/10.04.2009 на МОМН към Колеж по телекомуникации и пощи Н-05/10.04.2009 на тема "Разработка на модели на цялостния трафик в телекомуникационните системи"; Ръководител: доц. инж. Иван Проданов

Литература, от други автори, цитирана в автореферата

- [ITU E.360.1, 2002] ITU-T Recommendation E.360.1 (05/2002): Framework for QoS routing and related traffic engineering methods for IP-, ATM-, and TDM-based multiservice networks
- [ITU E.360.2, 2002] ITU-T Recommendation E.360.2 (05/2002): QoS routing and related traffic engineering methods – Call routing and connection routing methods
- [ITU E.360.3, 2002] ITU-T Recommendation E.360.3 (05/2002): QoS routing and related traffic engineering methods – QoS resource management methods
- [ITU E.360.4, 2002] ITU-T Recommendation E.360.4 (05/2002): QoS routing and related traffic engineering methods – Routing table management methods and requirements
- [ITU E.360.5, 2002] ITU-T Recommendation E.360.5 (05/2002): QoS routing and related traffic engineering methods – Transport routing methods
- [ITU E.360.6, 2002] ITU-T Recommendation E.360.6 (05/2002): QoS routing and related traffic engineering methods – Capacity management methods
- [ITU E.360.7, 2002] ITU-T Recommendation E.360.7 (05/2002): QoS routing and related traffic engineering methods – Traffic engineering operational requirements
- [ITU-T Y.2173, 2008] ITU-T Recommendation Y.2173 (09/2008): Management of performance measurement for NGN (Next-Generation Networks)
- [ITU-T E.726, 2000] ITU-T Recommendation E.726 (03/00): Network grade of service parameters and target values for B-ISDN

- [ITU-T E.860, 2002] ITU-T Recommendation E.860 (2002), Framework of a service level agreement
- [ITU-T E.802, 2007] ITU-T Recommendation E.802 (02/07): Framework and methodologies for the determination and application of QoS parameters
- [ITU-T E.734, 1996] ITU-T Recommendation E.734 (10/96): Methods for allocating and dimensioning Intelligent Network (IN) resources
- [ITU E.501, 1997] ITU-T Recommendation E.501 (05/97): Estimation of traffic offered in the network
- [Iversen, 2010] V. Iversen. Teletraffic Engineering & Network Planning. telenook, 2010/05, DTU, Technical University of Denmark, pp. 639. <http://www.fotonik.dtu.dk>
- [Poryazov, 1991] S. Poryazov. Determination of the Probability of Finding B-Subscriber Busy in Telephone Systems with Decentralized Control. Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences – Sofia, 1991 – Tome 44, No.3 – pp. 37-39

Dimensioning of Telecommunication Network with Channel Switching Based on Detailed Behaviour of Users

Formulation of a network dimensioning/re- dimensioning problem

Dimensioning/re- dimensioning means to determine the volume of telecommunication resources (equivalent internal switching lines, virtual channels), based on previous experience, that is enough for serving given input flow of demands with prescribed characteristics of Quality of Service (QoS). This is one of the main problems that often have to be solved by telecom operators.

Actuality of the topic: Now and in the foreseeable future, for dimensioning/re- dimensioning of virtual networks with QoS Guaranties, respected the Service Level Agreement, virtual channels design approaches are and will be used.

The main objective of the studies is to create more effective informational and mathematical models for dimensioning/re- dimensioning of overall telecommunication networks, with virtual channel switching, taking into account details of users' behaviour.

Methods used belong to the following areas: Informational and Mathematical Modelling, Service Networks Theory, Network Planning and Computer Programming.

The results obtained include:

Critical analysis of known literature, with special attention to recommendations in force of the International Telecommunication Union (ITU-T) and other leading organizations such as Cisco, is made.

Definitions of System and Basic Tuples, describing the state of telecommunication networks are proposed. The necessity of two consecutive qualifiers for parameters' description, in network design task, is argued

An analytical approach for overall telecommunication networks, with channel switching, dimensioning is proposed. The method takes into account users' behaviour details and uses significantly more parameters than the known methods. It can be used throughout the whole theoretically acceptable range of variables.

The existence and uniqueness of the solution for the telecommunication network dimensioning/re- dimensioning task are analytically proven. Algorithms

and computer programs implementing the proposed approach are developed. They allow numerical verification of the models.

Numerical analysis is made of the fundamental relationships between parameters used for dimensioning of telecommunications networks, and results are graphically presented. A numerical method for quantitative comparison and verification (testing) of network dimensioning/re- dimensioning methods are proposed. The results show that the proposed telecommunication networks, with QoS guarantees, dimensioning approach is more correct than the other comparable methods.

The main results of the thesis are presented in 9 publications, including: 2 in an international journal, 3 in international conferences, 2 – in national conferences and 2 are book chapters (Ed. Springer and IBS-ITHEA). The results described in the Thesis are reported and discussed in 7 research projects, 5 of which are international.

Structure and scope of thesis:

Dissertation paper consists of an introduction, four chapters, conclusion, list of abbreviations, list of publications, references list (213 pages altogether) and 3 appendixes. The work contains 141 titles of used literature sources, 3 tables and 18 figures. Formulated and proven are 37 propositions and 22 consequences.

Благодарности

Авторът изразява своята изключителна благодарност на научния си консултант доц. д-р Стоян Порязов за предложената тема, за дългогодишната ползотворна съвместна работа и цялостната помощ по време на работата над дисертацията. Подходящ повод е авторът да изкаже благодарността си към другия си научен консултант проф. д-р инж. Иван Куртев за подкрепата при разработване на дисертацията.

Авторът изказва признателността си към Института по математика и информатика –БАН, към Директора акад. д.м.н. Стефан Додунеков и колегите за чудесната творческа атмосфера.

Авторът благодари за насърчаването и подкрепата на проф. В. Б. Иверсен, проф. Н. Инже, проф. д.м.н. В. Вишневски и проф. д.м.н. И. Цитович.

Съдържание

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	3
Актуалност на проблема	3
Цел и задачи на дисертацията	3
Методология на изследването	5
Структура и обхват на дисертационния труд	6
Публикуване на резултатите от изследванията в дисертацията	6
II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	7
<i>Първа глава:</i> Цялостно качество на обслужване (QoS) в областта на телекомуникационните системи – някои текущи концепции и нерешени въпроси	7
<i>Втора глава:</i> Описание на методите	11
<i>Трета глава:</i> Задачи за оразмеряване и реоразмеряване на мрежи (ЗОМ/ЗРОМ)	20
<i>Четвърта глава:</i> Числени резултати и сравняване с общоприети методи	27
III. ЗАКЛЮЧЕНИЯ И ОСНОВНИ ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	39
IV. СПИСЪК С ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	41
Публикации, съдържащи елементи от дисертационния труд	41
Проекти, в които са обсъждани и използвани резултати от дисертацията	42
Литература, от други автори, цитирана в автореферата	43
Dimensioning of Telecommunication Network with Channel Switching Based on Detailed Behaviour of Users	45
Благодарности	47