



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ ПО ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ

КАТЕДРА „КОМУНИКАЦИОННИ МРЕЖИ”

маг. инж. Димитър Каприел Атамян

АНАЛИЗ НА ТРАФИКА В СЪВРЕМЕННИ IP 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: „Комуникационни мрежи и системи”

проф. д.т.н. Сеферин Тодоров Мирчев

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Комуникационни мрежи“ към Факултет по телекомуникации на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 16.10.2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 12.02.2019 г. от 15:00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.3-09/12.11.2018 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д.т.н. инж. Сеферин Тодоров Мирчев – председател
2. Доц. д-р инж. Георги Райчев Балабанов – научен секретар
3. Проф. д.т.н. инж. Михаил Петков Илиев
4. Проф. д-р инж. Иван Крумов Куртев
5. Доц. д-р Стоян Атанасов Порязов

Рецензенти:

1. Доц. д-р Стоян Атанасов Порязов
2. Доц. д-р инж. Георги Райчев Балабанов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет по телекомуникации на ТУ-София, блок № 1, кабинет № 1254.

Дисертантът е докторант в свободна форма на обучение към катедра „Комуникационни мрежи“ на Факултет по телекомуникации. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Димитър Атамян

Заглавие: Анализ на трафика в съвременни IP мрежи

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Интернет протоколът (IP) съществува във вида, в който го познаваме и днес, отпреди почти 40 години. Днес безспорно това е най-масовият протокол в комуникационните мрежи и като че ли е общоприето да прогнозираме, че това ще е основният мрежов протокол и в бъдеще. Предпоставката за това е непрекъснатото добавяне на нови спецификации в целия набор от протоколи, които от една страна покриват все по-нарастващите изисквания към работата на IP устройствата, а от друга страна насочват и предопределят развитието на нови услуги и функционални възможности. Един от механизмите, позволяващ този единствен мрежов протокол да се използва за цялото многообразие от човешки и машинни нужди, е възможността различните IP потоци да бъдат обслужвани по различен начин, според конкретните специфични изисквания и възможности.

Съвременната световна публична телекомуникационна мрежа, базирана на интернет, не е в състояние да гарантира качеството на обслужване открай докрай поради различни причини, в това число: силно хетерогенния (по типове услуги, приоритет, вид, обем и изисквания за качество) мултимедиен трафик; ограничения в капацитета на мрежите за достъп; изоставането на теорията от бързо изменящите се технологии и нарастващите изисквания на потребителите. Това налага подобряване на съществуващите и разработка на нови методи за поддръжка на качеството на обслужване които да отразяват достатъчно точно и бързо динамиката и особеностите на трафика.

Важен подход за повишаване на качеството на обслужване е използването на приоритети на различни нива в мрежите. Това налага разработване на модели за оценка на качеството на обслужване при наличие на изпреварващи и прекъсващи приоритети, както и до разработване на нови методи за приоритетно обслужване на трафикоизточниците.

Темата е особено актуална, като се има предвид не само рязко увеличения световен научен интерес към качеството на обслужване, а и променящото се отношение на доставчиците на телекомуникационни услуги, които все-повече разглеждат качеството като вид стока.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Целта на настоящия дисертационен труд е анализ на трафика в съвременните IP мрежи, по отношение на възможностите различни трафични потоци да бъдат обслужвани по различен начин за осигуряване на определено качество на обслужването.

За постигането на тази цел в работата трябва да се решат следните задачи:

1. Изследване на модели и методи за оценка на качеството на обслужване в съвременните IP мрежи и разработване на нови такива, които отчитат използването на различни дисциплини на обслужвани и на приоритети.
2. Анализ на трафичните потоци в съвременните IP мрежи чрез моделиране, измерване и оценка на техните характеристики при различни дисциплини за осигуряване на качеството на обслужване;
3. Изследване на трафика в съвременните IP мрежи при обслужване с приоритети;
4. Моделиране на обслужването в Интернет и разработване на модели за оценка на качеството на обслужване при наличие на прекъсващи и изпреварващи приоритети.
5. Разработване на нови методи за приоритетно обслужване на трафикоизточниците в мрежи с IP.
6. Разработване на модели и методи за анализ на телетрафични системи с приоритети при неравномерни трафични потоци.

Научна новост

Претенциите за научни резултати са следните:

1. Предложена е нов метод за приоритетно обслужване, базиран на изпреварващ приоритет с възможност за използване на прекъсващ приоритет с определена вероятност в диапазона от 0 до 1, който е приложим в Интернет мрежи.
2. Разработен е нов аналитичен модел на едноканална телетрафична система при неравномерен постъпващ трафичен поток, описан с разпределението на Пойа и произволно разпределение на времето на обслужване, основан на обобщената формула на Полачек-Хинчин и на обобщението на класическата система с приоритети M/G/1.

Като научно-приложни приноси са посочени:

1. Разработен е симулационна платформа за изследване на приоритетно обслужване на IP трафика.
2. Предложени са методи за определяне на средното време за чакане в едноканалната система Polya/G/1 с изпреварващ и с прекъсващ приоритет.

Практическа приложимост

Приносите с приложен характер могат да се обобщят както следва:

1. Изследвани са и са представени числени симулационни резултати на базата на апроксимиран модел на едноканална телетрафична система с чакане и приоритети, отчитащ различните подходи на обслужване в IP мрежата - IntServ, DiffSer и RSVP.

2. Проведени са измервания и са представени числени резултати върху реално работеща мрежа в лаборатория, в която са реализирани различни характеристики на IP потоци и приоритетно обслужване.

3. Проведени са измервания и са представени числени резултати за видео трафика в мрежа на мобилен оператор.

4. Проведено е симулационно моделиране и са представени числени резултати на видео трафикоизточници с помощта на симулационния пакет OMNET++.

5. Изследвани са и са представени числени резултати за едноканална система с чакане и приоритетното обслужване на IP пакети.

6. Представено е описание на постъпващи неравномерни процеси с разпределението на Пойа и на обобщената формула на Полачек-Хинчин при неравномерни трафични потоци.

7. Изследвани са и са представени числени резултати за едноканална система с чакане и приоритети при неравномерен входящ поток, описан с разпределението на Пойа.

Апробация

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

Публикации

Дисертационният труд е свързан с изследвания и разработки на автора през последните 10 години. Резултатите са публикувани в 6 публикации, от тях 2 доклада на национални конференции с международно участие, 3 доклада в международни форуми и конференции и 1 в рецензирано списание. Една от работите е самостоятелна. Три от публикациите са индексирани в базата данни на Google Scholar. По тематиката на дисертационния труд е работено в рамките на два научноизследователски проекта.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 132 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 117 литературни източници, като 113 са на латиница и 4 на кирилица. Работата включва общо 43 фигури и 10 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. Състояние на проблема

Телекомуникационните мрежи преминават през различни етапи на развитие и използване на различни технологии. През различните периоди от своето развитие се използват различни методи за пренасяне на информацията и различни протоколи за реализирането на тези мрежи.

Използването на един единствен протокол за реализиране на различни услуги има съществено предимство. Достатъчно е да познаваме само този протокол, както и устройствата, които използваме, е достатъчно да поддържат само този мрежов протокол. Значително се намаляват всички разходи, свързани със съществуването на IP телекомуникационните мрежи. Цялата инфраструктура е подчинена на особеностите на използвания единствен протокол. Проектирането, производството на съответното оборудване, изграждането на мрежата, поддържането, работата с клиентите, реализирането на различни услуги – всички аспекти на съвременните телекомуникации са основани на факта, че всичко е базирано на един основен мрежов протокол.

От друга страна този протокол трябва да позволи мрежовите ресурси да се използват ефективно при реализирането на различните услуги, които имат и съвсем различни изисквания при пренасяне на информацията през мрежата. Това изисква в мрежовите възли да се въведат допълнителни средства, с помощта на които този единствен мрежов протокол да се използва ефективно по различен начин за реализиране на различните услуги.

Качество на обслужване

Най-общо погледнато, пренасянето на необходимите трафични потоци и реализирането на необходимите услуги изисква използването на определени ресурси. Например капацитет, пропускателна способност, брой устройства, брой изходи. В случай на нарастване на трафика ще се достигне до момент, в който трябва да увеличим и съответния ресурс, примерно да преминем от връзка със скорост от 1 Gbps към използването на връзка със скорост 10 Gbps. Обикновено това е свързано с определени (най-често значителни) средства. Ако приемем, че в резултат на нарасналите нужди сме направили този разход, в началния етап след това ще се окаже, че част от новите ресурси ще останат неизползвани. В резултат на закономерното увеличение на трафика в годините новата инвестиция ще стане ефективна след определен период от време.

Ако приложим някой от подходите, известни като QoS, е възможно да обслужим нарасналите трафични потоци със съществуващите ресурси. Увеличението на съответния ресурс е неизбежно, но използването на QoS ще го отложи във времето, напр. с две години. През това време, обаче, стойността на съответните ресурси също „закономерно” ще намалее, и за

примера, увеличението на капацитета от 1 на 10 Gbps след две години ще е свързано с по-малки разходи, отколкото ако се направи сега. Поради това въвеждането на QoS често се среща и като механизъм за отлагане на неизбежни инвестиции - увеличение на ресурсите, което може да бъде икономически оправдано при определени условия.

Параметризиране на трафика

Осигуряването на определено качество на обслужването с механизмите на параметризирането на трафика е свързано с няколко характерни особености. Пример за параметризиране на трафика на IP ниво е използването на IntServ механизма – Integrated Services Model - за осигуряване на QoS.

Този подход осигурява или гарантира услугата открай до край в цялата мрежа. Пример за такава услуга може да е осъществяване на разговорна връзка между две крайни устройства, или видео връзка в реално време. За целта е необходимо всички мрежови възли, работата на които може да повлияе върху параметрите на обслужване на трафика, да изпълняват протоколите, свързани с избрания QoS механизъм. При такъв подход се приема, че се осигурява детайлно управление на трафичния поток от всяко едно приложение и обслужването му е с индивидуални параметри, съответстващи на конкретно необходимото качество на обслужването.

За намаляване на натоварването на маршрутизаторите, и за опростяване на използването на този механизъм, обикновено първо се дефинират определен набор от трафични класове, като параметрите за QoS се определят за съответния трафичен клас, а не за всеки индивидуален поток или сесия. След това отделните повиквания / IP сесии се причисляват към подходящия за тях трафичен клас (packet classifier). В някои случаи един трафичен клас може да съответства на широка категория от трафични потоци, напр. видео връзка. В другата крайност е възможно един трафичен клас да е присвоен само на една IP сесия. Масово използваният IntServ механизъм използва две категории трафични класове:

- Guaranteed QoS – “гарантирано качество” - гарантиране на обслужването на трафика според определени параметри, най-вече свързани със закъснението, за което се осигурява максимална стойност (горна граница). Тази категория е подходяща за приложения, които са чувствителни към закъснение – мултимедийни услуги, видео, разговор.

- Controlled Load – “контролиране на натоварването” - при което се гарантира че трафичният поток при обслужването си няма да бъде повлиян от евентуално претоварване в мрежата. Тази категория е подходяща за приложения, при които не трябва да се допускат загуби на пакети, които са характерни при претоварване в мрежата.

В началото на сесията клиентът трябва да „заяви” на мрежата съответните параметри на връзката, както и качеството, с което те трябва да се осигурят

от мрежата. Или да укаже към кой трафичен клас принадлежи трафичния поток. Ако е възможно, всеки мрежов възел по пътя на исканата връзка резервира съответните ресурси, за да може да се гарантират съответните параметри. За целта трябва да се използва подходящ протокол за сигнализация в процеса на изграждане на връзката. В Интернет спецификациите за целта се използва RSVP – Resource Reservation Protocol. Параметрите и качеството на връзката се определят от източника на информация със съответното съобщение (PATH). Всеки мрежов възел препраща това съобщение до получателя, като запомня от къде е получено съобщението. На базата на това се формира „път” – поредица от маршрутизатори, през които ще преминават пакетите от тази сесия. Резервирането се извършва в обратна посока – от получателя към източника. Съответстващото съобщение (RESV) съдържа параметрите, които трябва да се резервират във вид на описател на потока. Това съобщение пътува в обратната посока, по пътя който вече е избран в правата посока със съобщението PATH. Във всеки маршрутизатор се заделят съответните ресурси, ако е възможно. В крайна сметка в източника се получава потвърждение за успешното резервиране на ресурси по този път или невъзможност в момента да се осигури необходимото качество на обслужването.

Тъй като IP мрежата работи изцяло на дейтаграмен принцип и не е гарантирано пренасянето на пакетите, този механизъм трябва да се повтаря периодично, за да се реагира на конкретното състояние и маршрути в мрежата. Освобождаването на ресурсите, т.е. маршрутизаторите да не обслужват този поток и да освободят резервираните ресурси, може да стане и в двете посоки.

След определянето на пътя и резервирането на ресурсите IP пакетите за съответната сесия се пренасят по този предварително избран и резервиран път, като всеки маршрутизатор трябва да следи какво се случва със съответния трафичен поток. Всеки от маршрутизаторите трябва да реализира съответния механизъм за обслужване на пакетите (packet scheduler) за съответния трафичен клас.

Във всеки един маршрутизаторите в мрежата трябва да се осигури измерване на параметрите на постъпващия трафик и съпоставяне на тези параметри със заявените такива. В случай на необходимост е възможно принудително трафичният поток да се въведе в заявените рамки (traffic policing). Освен това на входа на мрежата, от страна на източника на данни, трябва да се осигури оформяне на трафика (traffic shaping), така че той да съответства на заявените от източника параметри.

Разбира се всеки маршрутизатор трябва да препредава съответните пакети в съответствие с предварително избраните механизми за управление на опашките. В IP мрежите е прието използването на механизмите на „кофа с

маркери” (token bucket). Параметрите се обменят с помощта на RSVP – сигнализационен протокол за използване на IntServ QoS механизма. Задава се обема на кофата, темпа за генериране на маркерите, максималния размер на пакета, максималната / пиковата скорост и др.

Идентификацията на съответния поток става на базата на IP адрес и на номера на порта, използван на транспортно ниво. Описването на трафика става с параметрите на кофата, които се използват за съответния поток. Освен това се задават и параметрите на качеството, което се изисква – скорост, максимално закъснение, максимална вероятност за загуби на пакети и др.

Въз основа на всичко това този механизъм има доста предимства и доближава използването на IP дейтаграмните мрежи до работата на мрежа с изграждане на връзка. Той осигурява най-високо ниво на обслужване, но е и доста сложен механизъм за реализиране. Приложим е в частни и корпоративно мрежи. Практически не е приложим при преминаване на пакетите през няколко мрежи на различни оператори / доставчици на услуги. Освен това използването му добавя значително натоварване в управлението на маршрутизаторите, при което е възможно тяхната производителност да се намали съществено. Подходът IntServ е приложим и при разпръсквателни услуги, при което е предвиден механизъм за обединяване на потоци, идентификация на базата на „шаблон” от адреси и т.н.

Приоритизиране на трафика

Осигуряване на качеството на обслужване е възможно и с много по-прости средства, групирани под общото наименование DiffServ – Differentiated Services Model, DS модел. Тук основната идея е да се определят различни трафични класове, които имат различни приоритети на обслужване. В различните трафични класове се причислят различните IP потоци.

В съответствие с основните особености на IP мрежите, и тук се дефинира област / домейн, в който важат по определен начин параметрите на DiffServ модела. На „входа” на една такава област различните трафични потоци се причислят към съответно възприетите в областта класове, наречени DSCP – Differentiated Services Code Point, като на всеки IP пакет се задава съответната стойност в предвиденото за целта поле в пакета. След това в останалите маршрутизатори в областта трафичните потоци се обслужват според тези вече зададени класове. На „изхода” на областта стойността на тази DSCP вече не е необходима и може да се премахне, или да се промени в друга стойност според общоприетите правила и стойности в Интернет, или в съответствие с договорените правила в следващата DS област.

На входа на областта се извършва и следене на параметрите на постъпващите потоци, за да се гарантира, че съответстват със заявените параметри – traffic policing. В изхода на мрежата трафичните потоци могат да

се оформят в съответствие с необходимите параметри, с които да се пренасят данните в следващата област (traffic shaping), така че да съответстват на съответния трафичен контракт. Всички мрежови възли в съответната област трябва само да прочетат съответната DSCP стойност и да обработят пакета според правилата, въведени в съответната област и съответстващи на стойността на съответното DSCP.

За да може такъв механизъм да осигури съответното качество на обслужването, е необходимо всеки мрежов възел да може да реализира различни, често сложни механизми за обслужване на опашките, т.е. използване на разнообразни форми за приоритизиране на обслужването на трафика. Естествената дисциплина „първи постъпил – първи обслужен” – FIFO, не може да осигури диференцирано обслужване на различните класове. Освен това е необходимо и предварително „съгласуване” и договаряне на параметрите (SLA – Service Level Agreement) между различните оператори / доставчици на услуги, както и на клиентите със съответните доставчици.

Основното в DS технологията е осигуряването на четири различни подхода при обслужване на IP пакетите във всеки маршрутизатор:

- BE – Best Effort – подразбиращото се поведение на маршрутизатора по отношение на обслужване на пакетите. Съответства на основните принципи в IP мрежите – предаване на пакетите, без да се гарантира, че ще се получат, а също без да е гарантирана скорост, закъснение, загуби или каквито и да са други параметри на обслужване на трафика. Тези параметри зависят от моментното трафично натоварване на мрежовия възел. За маркиране на пакетите, подлежащи на BE обслужване, се използва DSCP=000000;

- CS – Class Selector PHB – обслужване с приоритети, съвместимо със съществуващите до тогава стойности на приоритетите – от 0 до 7. Използват се осемте DSCP стойности от вида XXX000, където XXX е със стойности 000 до 111 и отговаря на приоритетните нива от 0 до 7;

- EF – Expedited Forwarding – най-високият клас обслужване, което гарантира минимално закъснение и джитер, минимални загуби на пакети, както и гарантирана скорост на предаване. Реализира се с високо приоритетна опашка, като се отделя част от ресурсите (скорост, капацитет) за такъв тип трафик. Претоварване в EF опашките не трябва да блокира останалите опашки в маршрутизатора. Поради това трябва да се допускат EF потоци само в рамките на малка част от ресурсите на канала – напр. 10% от общия капацитет, като за потребителите обслужването с EF изглежда като обслужване с виртуален канал или наета линия. Използва се един единствен DSCP код със стойност 101110;

- AF – Assured Forwarding. Този механизъм осигурява разграничението на 4 класа трафик: с клас 1, 2, 3 и 4, съответно с DSCP стойности 001xxx, 010xxx, 011xxx и 100xxx. Всеки трафичен клас се обслужва със собствена

(отделна) опашка. Във всеки трафичен клас са определени и три нива на вероятност за загуби – отпадане на пакета от обслужване в случай на моментно натоварване над допустимото. Допустимото отпадане на пакета се кодира с DSCP стойностите xxx010 за най-ниската допустима загуба на пакети, xxx100 за средно ниво на загуби и xxx110 за пакетите с допустима най-висока стойност на загубите.

ГЛАВА 2. Обслужване на трафика в съвременни IP мрежи

За да изследваме обслужването на трафика в мрежи с Интернет протокол, първо трябва да имаме представа за характеристиките на различните трафикоизточници в този тип мрежи, както и на параметрите на трафичните потоци, генерирани от такива трафикоизточници.

Трафикоизточници

При изследване на трафик, породен от три популярни услуги - VoIP, LAN емуляция и транзакции, в някои от разгледаните литературни източници са описани техните характеристики. За VoIP трафикът се приема наличието на паузи и активност в трафичния поток, най-често с експоненциално разпределени продължителности на паузите и активностите. Качеството на обслужването на такива потоци се отчита най-вече на базата на закъснението от край до край. Отчитат се и загубите – на базата на ограничената дължина на опашките. Времето за предаване (обслужване) на пакетите се приема за фиксирано, поради най-често постоянния размер на пакета, породен от съответния кодек и настройките на услугата.

Трафикоизточници при използване на IntServ подхода

Използването на Integrated Services (IntServ) подхода за осигуряване на качество на обслужване подхода разглежда трафичните потоци основно в три категории:

- Данни;
- Услуги в реално време, толерантни към закъснение;
- Услуги в реално време, нетърпящи закъснение.

Услугите за данни най-често се обслужват на принципа на best effort. Няма дефинирани параметри и граници на параметрите за определяне на качество на обслужване.

Услугите в реално време, търпящи закъснение, обикновено изискват висока скорост за пренасяне. За услугите в реално време, не толерантни към закъснението, се предполага използването на методи за гарантиране на качеството.

Трафикоизточници при използване на DiffServ подхода

Differentiated Services (DiffServ) е друг подход за осигуряване на качество на обслужването. По своята същност и начин на работа това е механизъм,

който се прилага за целия агрегиран трафичен поток. Най-често се разглеждат три типа обслужване:

- Най-високо качество (premium service) – малко закъснение, малки загуби, гарантирана скорост, напр. VoIP,
- Гарантирано качество (assured service) – по-ниски изисквания спрямо най-високото качество, но с гарантиране на обслужването, напр. LAN трафик.
- Каквото стане (Olympic service) – транзакции, за които не е критично закъснението или загубите.

Трафикоизточници при използване на RSVP подхода

Resource Reservation Protocol (RSVP) е подход за гарантиране на качеството на обслужването, използван най-вече за осигуряване на качеството на услуги в реално време, критични към закъснението. Разглеждаме следните три типа обслужване:

- Wildcard filter – за осигуряване на определени изисквания на определен порт, например за LAN свързване.
- Shared Explicit – осигуряване на изискванията на даден интерфейс, с отчитане на адреса на получателя. Използва се за определени транзакции.
- Fixed Filter – резервиране на ресурси за определена услуга, напр. VoIP.

Класове трафикоизточници

Трафикоизточниците за данни са разнообразни и могат да са както силно интерактивни така и почти симплексни. Някои от източниците могат да работят в режим на предаване към много източници. Предаването става както с UDP така и с TCP транспортен протокол. Дължините на пакетите са много и различни, от 20 байта за управление на връзката (примерно потвърждения или изграждане на сесия) до 1500 байта при предаване на файлове. Услугата www генерира трафик с по-малки пакети. По принцип услугите за данни работят с нисък или най-нисък приоритет. При някои корпоративни мрежи има специфични приложения на потребителя, които могат да получат висок или дори най-висок приоритет. Типични услуги, моделирани по-нататък, са обмен на файлове (ftp), Instant Messenger File transfer, Text Messaging, Photo Sharing applications, E-mail.

Трафикоизточниците за аудио информация могат да са IP Phone Skype (централизирана P2P технология), IP Audio Streaming, Messenger Audio, Music Streaming, друга VoIP технология. Скоростите до голяма степен зависят от кодека, но и от технологията за пренос, и се променят от 40 до 450 kbps. Тази информация получава най-висок приоритет в мрежата.

Трафикоизточниците за видео са такива от Video Conferencing, IP Video Streaming, видеонаблюдение, IPTV, web TV, както и YouTube. Обикновено се предават с висок приоритет или следващ след най-високия приоритет и изискват по-голям капацитет. Компресията на сигнала при тях трябва да е значителна и силно зависи от кодеците. Най-масовата скорост на работа в

момента е 384 kbps за всичко, което не е телевизия. Най-добрият кодек на пазара в момента е H.264. Масови на пазара са също кодеци като Flash video, MPEG-4, H.263, H.261, H.263+. Скоростите зависят силно от предаваната информация. Например предаването на .avi видео файл изисква около 910 kbit/s капацитет в реално време при 25 кадъра/сек и размер на кадъра 480x270 пиксела.

Трафикът от сигнализация, който е с пакети от 20 до 400 байта, се подценява, но той често достига значителен от общия трафик в канала. Това особено важи за P2P архитектурите, при които създаването и поддържането на виртуалните сесии изисква интензивна сигнализация. Този трафик расте и при мобилни приложения с протоколи в ad hoc мрежи и при поддръжка на достъп през много интерфейси (multihoming) и споделянето им (load balancing). Същото важи и за някои приложения от типа клиент/ сървър.

Специален интерес за настоящето изследване представляват камерите за видео наблюдение. Повечето от тях използват кодеци H.263 и H.264 и затова изследванията са насочени към тях. Анализирани са и съответните дължини на пакети след кодеците. Изследвани са камери Nextiva S5000 (Indoor IP Dome, H.264 & High-Definition Technology), Nextiva S5020FD-DN, Verint, S2600e и S2610e, Nextiva, S2700e IP Mini-Dome Camera with Day/Night Function, и други, по-нискоскоростни камери от тази серия.

Камерите генерират трафик както с променлива така и с постоянна скорост. При тези с генериране чрез променлива скорост се разглеждат случаите с голяма подвижност на изображението. Скоростите на тези камери се променят от 128 kbps до 5 Mbps. Най-често камерите със средна разделителна способност работят на скорост до 768 kbps за постигане на качествено изображение, докато тези с висока разделителна способност работят на скорости до около 2,5 Mbps. Обикновено дължините на пакетите са между 600 и 800 байта при HD като само по време на движение на фигурата пакетите скачат по дължина до 1400 байта и намаляват по дължина до 200 байта при предаване на относително неподвижни елементи от изображението.

Прилагането на MPLS протокол върху IP ниво или върху тунели в IP ниво предполага изграждането на виртуални канали и респективно частично гарантиране на качеството. Това може да стане в мрежи с фиксирана до голяма степен структура като например в мрежите за видео наблюдение.

Измерване на трафика в лабораторна мрежа

Проведени са изследвания върху реално работеща мрежа в лаборатория, в която могат да се реализират различни характеристики на IP потоци. Моделът е съвкупност от седем мрежови възела респективно маршрутизатори от серията J на фирма Juniper. В модела е използван и един L2 мрежов възел от серия EX4000 на същия производител. По този начин

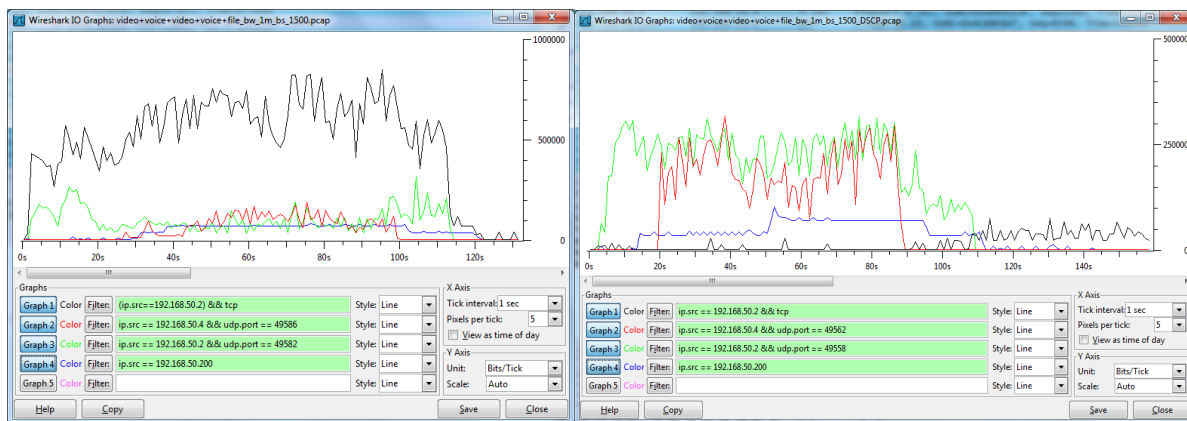
могат да се моделират от една страна различни характеристики на IP опорна и корпоративна мрежа, а от друга страна могат да се конфигурират различни дисциплини на обслужване на трафика в мрежовите възли, както и различни методи за реализиране на нивото на обслужване COS и QOS.

Трафикът, с който са направени изследванията, е получен от реални крайни устройства. Използвани са VoIP телефони под Windows, включени към Asterisk VoIP сървър, с които се генерират трафични потоци в реално време с постоянна скорост. Използвани са основно кодеци GSM 6.10, мултимедийна платформа Windows Net Meeting за обмен на видео, глас, данни и интерактивни образи (неподвижни изображения). Основните резултати са дадени при видео потоци с H.263 кодиране, с променлива скорост в битове за поток в реално време. Гласовата информация от тези терминали е с H.723.1 кодек. Освен това са използвани и приложения за предаване само на данни като FTP сървър от пакета Windows Information Services както и стандартен Windows FTP клиент. IP камерите поддържат няколко стандартни протокола за кодиране на информацията и TCP/HTTP протоколи за видео потока вместо UDP/RTP.

В мрежата са моделирани както чисто IP конфигурации, така и MPLS тунели в IP среда. Изследванията са направени с механизми за управление на качеството на ниво преход (Per-Hop), DSCP и EXP класификатори на трафика. Платформата позволява гъвкаво класифициране на трафичните потоци според определени параметри и съвкупност от критерии за принадлежност към даден DSCP клас, EXP приоритет, тип на обслужване, механизъм за контрол на трафика, изходни опашки и др.

На фигура 2.9 е показана графика на трафика при конфигурация с FTP сесия (линия 1 в черно), два RTP потока с постоянна скорост (линия 4 в синьо), съответно започващи и завършващи в различно време, два видео потока от мултимедийни комуникации (показани с линии 2 и 3 в червено и зелено). Показано е поведението на терминалите при ограничение на капацитета в канал от мрежата със скорост от 1 Mbps, също така и при ограничение на параметъра Maximum Burst Size (MBS) на 1500 байта.

Поведението на същите трафикоизточници е различно при обслужване на трафика при добавяне на различни класификатори на трафика и обслужването му с различни опашки и дисциплини. На фигура 2.11 е показан обслуженият трафик при капацитет от 1 Mbps, максимален размер на серията MBS от 1500 байта и приоритет на видео връзките, означени с линия 2 и 3.



фигура 2.9. Обслужен трафик при 1 Mbps и 1500B BS

фигура 2.11 Обслужен трафик при 1 Mbps 1500B BS и приоритет на видео трафика

Друг аспект на изследванията е да се получат реални резултати при използването на MPLS технология. MPLS позволява гарантиране на обслужването през статични MPLS тунели в IP мрежата. Използваният хардуер позволява гъвкаво определяне на критериите за използване на тунелите, както и промяна на подразбиращите се дисциплини на обслужване на MPLS трафика. На фиг. 2.12 е показано разпределението на пакетите в изходящите опашки на един порт. В работата на фигура 2.13 са показани резултати при 1 Mbps капацитет, максимален размер на серията MBS от 1500 байта и използването на тунел само за видео и аудио трафика.

Πηψισιχαλ интерфаχε: φε-0/0/0, Εναβλεδ, Πηψισιχαλ λινκ ισ Υπ
 Ιντερφαχε ινδεξ: 137, ΣΝΜΠ ιφΙνδεξ: 25, Γενερατιον: 138
 Λινκ-λεπελ τυπε: Ετηερνετ, ΜΤΥ: 1518, Σπεεδ: 100μβπσ, Λοοπβαχк: Δισαβλεδ,
 Σουρχε φιλτερινγ: Δισαβλεδ, Φλωω χοντρολ: Εναβλεδ
 Δεπιχε флагσ : Преσενт Рυnnινγ
 Ιντερφαχε флагс: ΣΝΜΠ-Трапс Ιντερναλ: 0ξ4000
 ΧοΣ θυευεσ : 8 суппортед, 8 μαξιμουμ υσαβλε θυευεσ
 Ноδ-τιμεс : Υπ 0 μс, Δοων 0 μс
 Χυрρεντ αδδρεсс: 00:19:ε2:02:α8:50, Наρδωаре αδδρεсс: 00:19:ε2:02:α8:50
 Λασт флаппед : 2012-04-27 10:44:47 ΥΤΧ (07:47:38 αγο)
 Στατιστιχс ласт χλεαρεд: Неπερ
 Траффиχ στατιστιχс:
 Ινпут βψтес: 133902941 192 βπс
 Ουтпут βψтес: 134040322 192 βπс
 Ινпут παχκεтс: 578303 0 ππс
 Ουтпут παχκεтс: 578033 0 ππс
 Εγρεсс θυευес: 8 суппортед, 4 ιν υсе

Θυευе χουνтерес:	Θυευед παχκεтс	Трансмиттед παχκεтс	Δροппед παχκεтс
0 βεст-εффорт	474928	474928	0
1 εξπεδιτεд-φο	74333	74333	0
2 асσυред-φορω	25676	25676	0
3 νεтwork-χονт	5064	5064	0

 Αχτιπε αλαρμс : None
 Αχτιπε δεфеχтс : None

фигура 2.12. Разпределение на пакетите в изходящите опашки на маршрутизаторите

Анализ на качеството на обслужване на видео трафик в хетерогенни мрежи

Според данни на мрежови оператори, качеството на видео услугите, което се осигурява с помощта на DiffServ модела, не винаги удовлетворява потребителите на такава услуга, като се наблюдават и епизодични претоварвания в определени мрежови сегменти. Тук ще изследваме до колко прилагането на механизъм за гарантиране на качество на обслужване може да гарантира основни характеристики на видео трафика. Изследваме фиксирани, безжични и 3G мрежи.

В 3G мрежите са дефинирани четири трафични класа за управление на QoS. Диалоговите и поточните (streaming) класове са подходящи за мултимедийни услуги в реално време. Резултатите от закъснението и джитера показват, че те зависят от присвоения приоритет и приоритизиране на агрегирания трафик, за да гарантират необходимото качество.

Измерване на видео трафика в IP

В хетерогенна среда ще изследваме четири типа трафик: HTTP услуги, P2P, TV и VoIP услуги. Дадени са параметрите на трафичните потоци. Показаните данни са достатъчно представителни в часовете на най-голям трафик. Използван е браузър – Google Chrome. P2P трафикът е изследван чрез наблюдение на над 500 000 пакета в Skype и µtorrent сесии с различна продължителност. TV трафикът е изследван чрез наблюдение на произволни канали от iptv.bg в продължение на 10 минути. VoIP трафикът е генериран от Cisco IP Communicator.

Освен това изследваме и видео трафика в мрежа на мобилен оператор, с два различни кодека - H.263 и H.264. Измерванията са проведени в Gi интерфейса в посока напред между Node B и Session Border Gateway Controller (SBC), както е показано на фигура 2.14. Трафикът преминава през Radio Network Controller (RNC), Serving GPRS Support Node (SGSN), GGSN Gateway GPRS Support Node (GGSN) и опорната IP мрежа.

Измерванията са направени в различни клетки на мобилния оператор през различни дни в часовете на голям трафик. Трафикът в Gi интерфейса се филтрира чрез Wireshark и след това резултатите са подложени на статистическа обработка. По време на изследванията параметрите на качеството на обслужване се изпълняваха изцяло. Получените резултати са типични за 3G мрежи.

В резултат на проведените изследвания също така отбелязваме, че характеристиките на трафика в двете посоки не са еднакви. Съответно трафичният поток в двете посоки не би трябвало да се описва по един и същи начин. Трафичният поток в посока приемане е оформен в резултат на механизмите за гарантиране на качеството, прилагани от оператора. Това

може да се дължи и на преминаването на трафика през участък с намалена пропускателна способност. Ефектът от оформянето зависи изключително от приоритетите на пакетите.

Симуляционно моделиране на видео трафикоизточници

Проведените наблюдения и измервания подпомагат определянето на избрани параметри, с които да извършим симуляционно моделиране на жична и безжична локална мрежа.

Резултатите от 24 часово симулиране с помощта на OMNET++ са дадени в таблица 2.9. Общият брой на симулираните трафикоизточници варира от 40 до 200. Броят на трафикоизточниците от всеки трафичен клас е еднакъв. Симулациите показват, че средното време за чакане в една опашка е между 1 и 3 ms, което е приемливо за повечето приложения. Въпреки това се забелязват големи вариации в TV и P2P трафика, което може да доведе до нуждата от преоразмеряване на определени ресурси.

По наши наблюдения разделянето на трафичните потоци на класове и частичното резервиране на ресурси за всеки клас трафик може да подобри качеството на обслужването. Това може частично да се постигне с алгоритми като DiffServ или с управление на опашките на базата на натоварването в мрежата. Тъй като се очаква увеличение на видео трафика, ефективността на тези подходи няма да е достатъчна и трябва да се търсят нови механизми за осигуряване на качеството на обслужването.

В заключение можем да обобщим решенията в тази глава задачи:

Изследване на модели и методи за оценка на качеството на обслужване в съвременните IP мрежи и разработване на нови такива, които отчитат използването на различни дисциплини на обслужвани и на приоритети.

Анализ на трафичните потоци в съвременните IP мрежи чрез моделиране, измерване и оценка на техните характеристики при различни дисциплини за осигуряване на качеството на обслужване;

Изследване на трафика в съвременните IP мрежи при обслужване с приоритети;

ГЛАВА 3. Приоритетно обслужване - прекъсващи и изпреварващи приоритети

Обслужване на трафика с приоритети

В настоящата глава изследваме механизъм за обслужване на трафичните потоци, при който с постъпване на нова заявка (постъпване на нов пакет) е възможно обслужването му веднага, с прекъсване на обслужването на текуща ниско приоритетна заявка. Такъв механизъм е известен като прекъсващ приоритет, или абсолютен приоритет (preemptive priority), и като правило се използва сравнителна рядко в Интернет пространството.

Моделиране на системи с приоритети

Моделирането на системи за масово обслужване с приоритети като правило е по-трудно от моделиране на не приоритетни системи. Когато изборът на заявка за обслужване от опашката не е свързан с времето за обслужване, можем да приложим аналитични модели за определяне на параметрите на обслужването. За някои системи това не е възможно и прилагаме симулационно моделиране.

Телетрафичен модел

Разглеждаме класическите едноканални телетрафични системи от вид M/M/1 и M/D/1. Ограничаваме се само до две категории трафични потоци – една с високо приоритетно обслужване (h), за която категория използваме означенията

$$A_h = \frac{\lambda_h}{\mu_h}, \quad (3.1)$$

както и категория с ниско приоритетно обслужване (l) на заявките, за която използваме означенията:

$$A_l = \frac{\lambda_l}{\mu_l}, \quad (3.2)$$

където A е *постъпващият трафик*, а λ и μ са съответно интензивността на постъпване и интензивността на обслужване.

Изследваме основните параметри на обслужването: средна дължина на опашката L_q , среден брой на пакетите в системата L , съответно средното време за престой в системата и средното време за чакане W и W_q .

Използваме известната формула на Литъл:

$$L = \lambda W, \quad (3.3)$$

и

$$L_q = \lambda W_q, \quad (3.4)$$

като я прилагаме и за двата потока – с нисък и с висок приоритет чрез добавяне в означението на съответния индекс h или l . Други използвани зависимости са:

$$L_{q,h} = L_h - A_h, \quad (3.5)$$

и

$$L_{q,l} = L_l - A_l, \quad (3.6)$$

съответно за двата трафични потока.

Моделиране на система M/M/1 с приоритети

Много от обслужващите системи в Интернет на нещата могат да се моделират с едноканална система с чакане. Интервалите между моментите на постъпване на пакетите и продължителностите на обслужване могат да се приемат експоненциално разпределени. Това позволява да приложим аналитичен модел за оценка на параметрите на обслужването.

Прекъсващ приоритет:

В случай на прекъсващ приоритет моделирането е по-лесно (обслужването на високоприоритетните заявки не се влияе от обслужването на ниско приоритетните такива) и можем да изразим средната дължина на опашката с

$$L_{q,h} = \frac{(A_h)^2}{1 - A_h} \quad (3.7)$$

за високоприоритетните потоци, и с

$$L_{q,l} = \frac{A_l - A_h A_l + A_h A_l \frac{\mu_l}{\mu_h}}{(1 - A_h)(1 - A_h - A_l)} - A_l \quad (3.8)$$

за ниско приоритетните такива. След това средното време за чакане се определя с формулата на Литъл. Още по-голямо опростяване може да се получи, ако приемем интензивността на времето за обслужване на двата трафични потока да е еднаква:

$$\mu = \mu_h = \mu_l \quad (3.9)$$

което в много от случаите е модел близък до реалния.

Изпреварващ приоритет:

В случай на изпреварващ приоритет нещата са по-сложни [36] но можем да дадем следните зависимости:

$$L_{q,h} = \frac{\lambda_h \left(\frac{A_h}{\mu_h} + \frac{A_l}{\mu_l} \right)}{1 - A_h} \quad (3.10)$$

и

$$L_{q,l} = \frac{\lambda_l \left(\frac{A_h}{\mu_h} + \frac{A_l}{\mu_l} \right)}{(1 - A_h)(1 - A)} \quad (3.11)$$

Моделиране на система M/D/1 с приоритети

Много приложения в Интернет на нещата предполагат използването на съобщения, времето за обслужване на които не е експоненциално разпределено. Често времето за обслужване е постоянно – една и съща дължина на пакетите. В общия случай аналитичните модели на системи M/G/1 с приоритети са сложни. Поради това тук представяме резултатите от моделиране на система M/D/1. Използвайки формулата на Полачек-Хинчин предлагаме в случай на прекъсващ приоритет използването на формулата

$$L_{q,h} = \frac{(A_h)^2}{2(1 - A_h)} \quad (3.12)$$

В случай на изпреварващ приоритет предлагаме оценка чрез

$$L_{q,h} = \frac{\lambda_h \left(\frac{A_h}{\mu_h} + \frac{A_l}{\mu_l} \right)}{2(1 - A_h)} \quad (3.13)$$

и

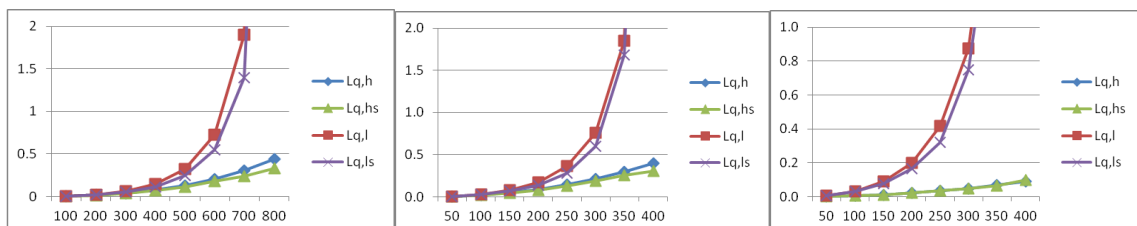
$$L_{q,l} = \frac{\lambda_l \left(\frac{A_h}{\mu_h} + \frac{A_l}{\mu_l} \right)}{2(1 - A_h)(1 - A)} \quad (3.14)$$

съответно за високо и ниско приоритетните заявки.

Симуляционно моделиране

Сравняваме аналитичните резултати с такива от симуляционно моделиране при едни и същи параметри. Целта е да покажем приложимостта на тези несложни формули при анализ на трафика в случай на приоритетно обслужване при Интернет на нещата.

Сравнението на резултати, получени аналитично и със симуляционно моделиране при изпреварващ приоритет в M/D/1 система, е показано на фигура 3.2. Избрани са еднакви интензивности на обслужване на заявките, респ. еднакви средни дължини на пакетите за двата трафични потока.



фигура 3.2., 3.3, 3.4 Средна дължина на опашките при двата приоритета, определена аналитично и със симулационно моделиране, при различно време за обслужване и различна интензивност на постъпване на пакетите

Приоритетно обслужване на трафика в IoT

Обслужването на трафика в Интернет на нещата (IoT, Internet of Things) се очаква да бъде определящо за приложимостта на една или друга технология в обкръжаващия ни свят.

Добавяйки терминът IoT имаме в предвид друга група трафикоизточници. Очаква се броят им да е голям, дори и многократно надхвърлящ броя на преносими компютри, таблети и телефони. Генерираният трафик от тези сензори, или датчици, е с неголям обем. Пренасяната информация е разпределена в пакети с малка дължина, предавани както във фиксирани моменти от времето, така и при настъпване на определени събития, т.е. случайно. За част от тези сензори времето за обслужване може да е критично за реализиране на самото приложение. Например при автоматизиране на пътния трафик, или при приложения свързани с състоянието на човека и неговото здраве.

Всичко това предполага необходимостта от въвеждането на различни приоритетни дисциплини при обслужване на трафика в IoT.

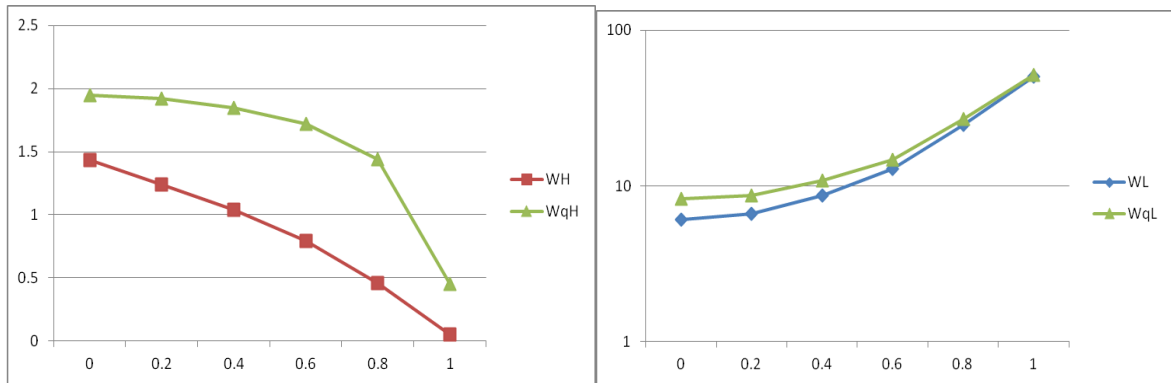
Изследване

Моделирани са два входящи потока. Първият поток – с висок приоритет - отговаря на трафика, породен от различни устройства – сензори или други устройства, за които се изисква пренасяне на данните с минимално закъснение в мрежата. С вторият поток представяме класическия интернет трафик, за който в настоящето изследване е прието обслужване с по-нисък приоритет.

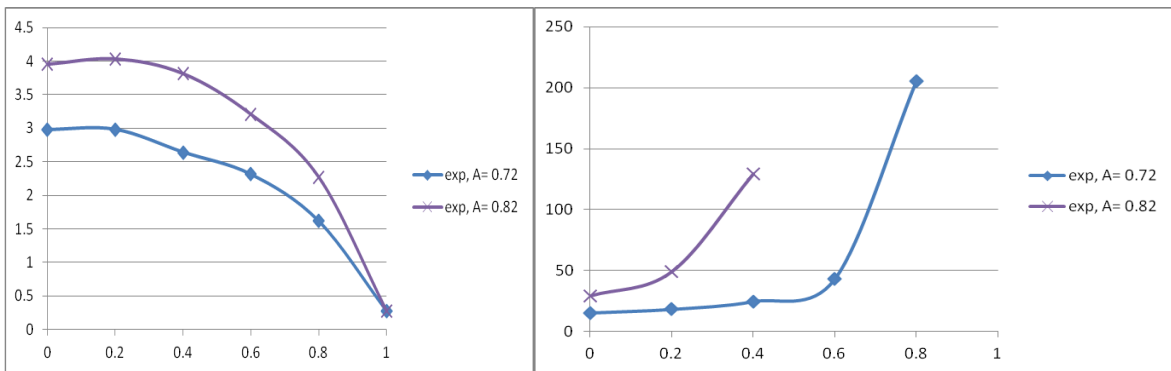
На фигура 3.5 и фигура 3.6 са показани средното време за чакане (спрямо всички повиквания) W и средното време за чакане спрямо чакащите - W_q при моделиране на експоненциално разпределение на времето за постъпване и постоянно време на обслужване, съответно на фигура 3.4 е дадено закъснението на високо приоритетния трафик, а на фигура 3.6 – за ниско приоритетния. По абцисната ос е вероятността p приоритетът да е прекъсващ, а не изпреварващ, а по ординатната ос времето е в ms. Зависимостите са получени при една и съща интензивност на постъпващите повиквания, но при 5 пъти по-малка продължителност за високоприоритетния трафик. Резултатите от фигура 3.5 и фигура 3.6 са получени при общо натоварване от 0.72 E.

От получените резултати се вижда, че използването на прекъсващ приоритет може да доведе до значително намаление на времето за обслужване на пакетите от високоприоритетни потоци. Вижда се, времето за

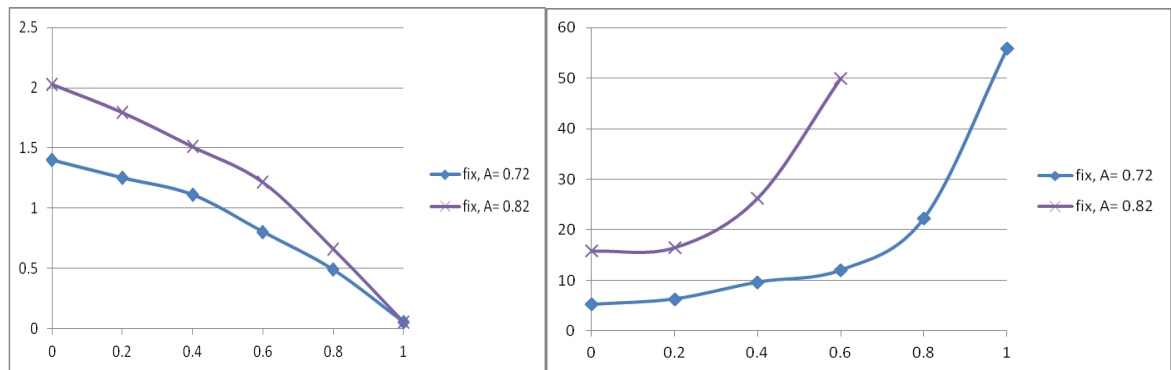
обслужване на ниско приоритетния поток се увеличава до два до четири пъти, спрямо обслужването без приоритети.



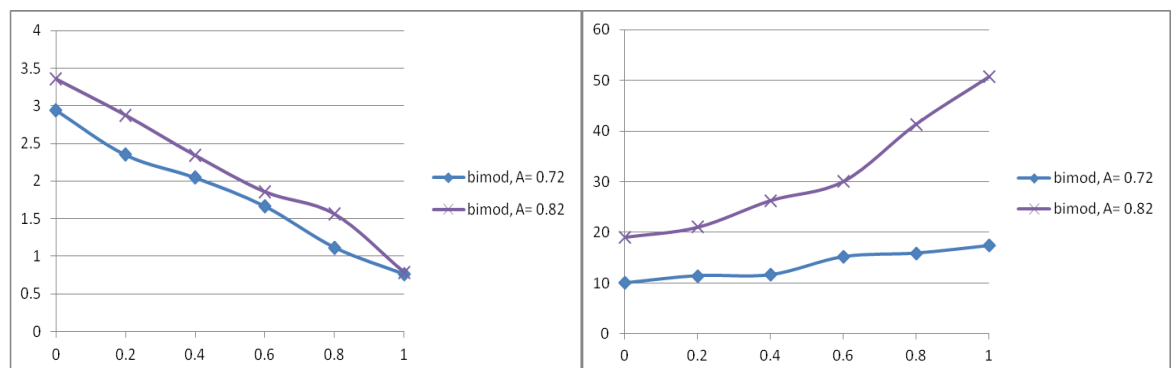
фигура 3.5., 3.6. Средна стойност на времето за чакане при $A=0.72$ erl



фигура 3.9. Закъснение при експоненциално разпределение на времето на обслужване

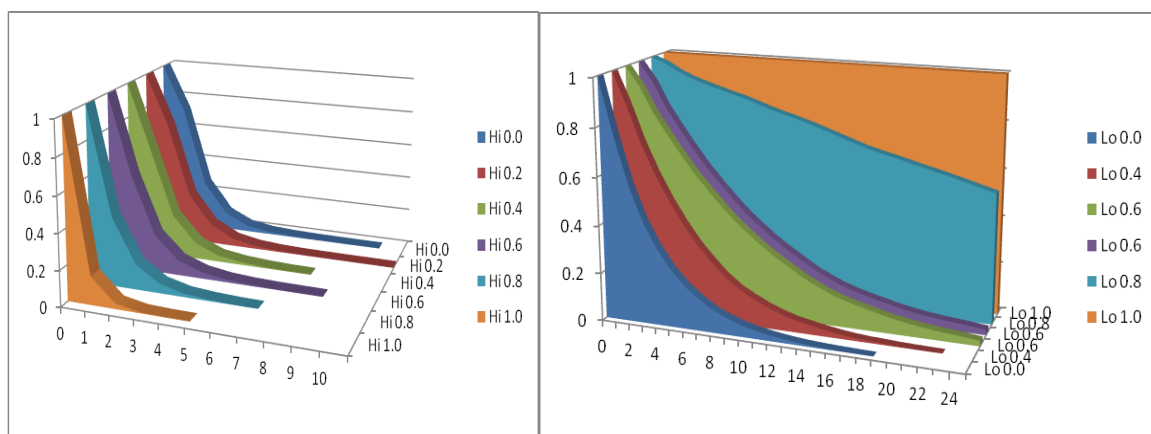


фигура 3.10. Закъснение при фиксирано време на обслужване

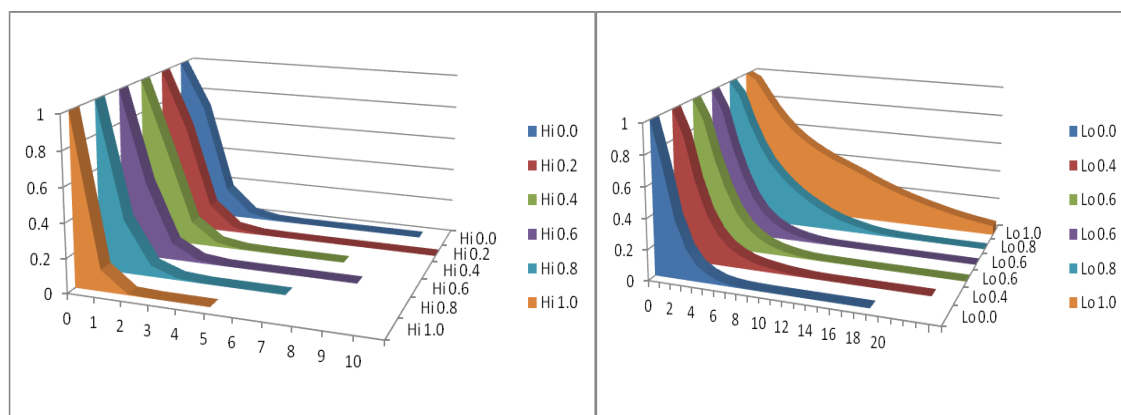


фигура 3.11. Закъснение при бимодално разпределение на времето на обслужване

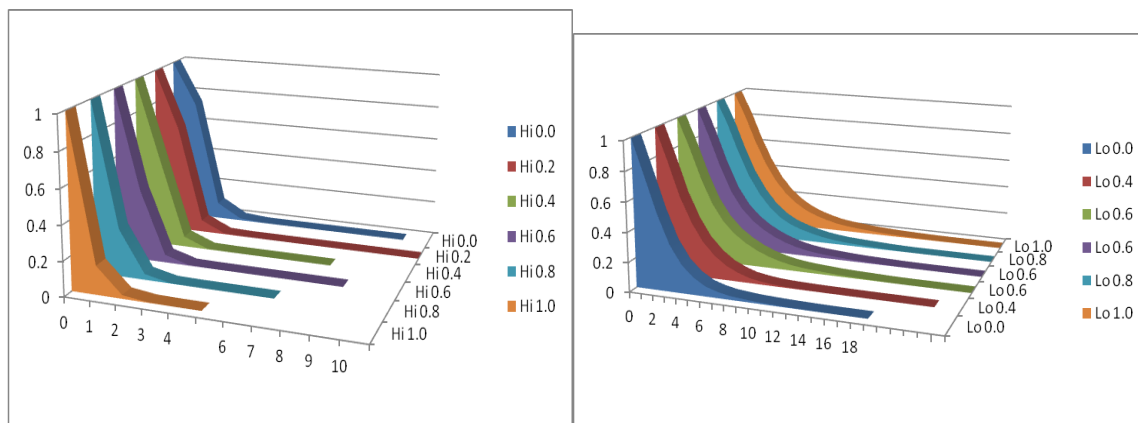
Представява интерес и вероятността размерът на опашката да е по-голям от зададена стойност, която показва вероятността обслужването на пакетите да е с минимални загуби. При същите условия на моделите са получени следните резултати, показващи вероятността (по ординатната ос) да има поне n на брой чакащи пакета в опашката (на фигури 3.12, 3.13 и 3.14 по абцисната ос), при различна вероятност за обслужване с прекъсващ приоритет (по оста z , в дълбочина).



фигура 3.12. Вероятност размерът на опашката да е по-голям от зададена стойност при експоненциално разпределение на времето за обслужване



фигура 3.13. Вероятност размерът на опашката да е по-голям от зададена стойност при фиксирано на времето за обслужване



фигура 3.14. Вероятност размерът на опашката да е по-голям от зададена стойност при бимодално разпределение на времето за обслужване

Изводи

В настоящата глава са представени резултати от трафично изследване на приоритетното обслужване на IP пакети. Моделирана е едноканална система с чакане с голям размер на опашката, които не въвежда ограничения и загуби. В модела са реализирани различни разпределения на дължината на пакетите. Предложен е нов метод за приоритетно обслужване, при който се прилага прекъсващ приоритет с определена вероятност в диапазона от 1 до 0 (p-preemptive). Симулирано е обслужване без приоритети, с изпреварващ приоритет (non-preemptive), с прекъсващ приоритет (preemptive), както и с предложени нов метод (p-preemptive).

ГЛАВА 4. Изследване на системи с приоритети при неравномерен входящ поток

Въведение

В тази глава се анализира нова телетрафична система с приоритетно обслужване, при неравномерен постъпващ поток и произволно разпределение на времето на обслужване. Изследването е на базата на обобщение на стандартния модел M/G/1 и на обобщение на формулата на Полачек-Хинчин. След това е направено описание на постъпващия поток с разпределението на Пойа и обобщената формула на Полачек-Хинчин за едноканалната система Polya/G/1. Разработени са методи за изследване на телетрафични системи при неравномерен процес на постъпване с изпреварващ и с прекъсващ приоритет, както и са представени съответните числови резултати и изводи.

Постъпващ процес с разпределение на Polya

Разпределението на Пойа отразява процес на раждане и умиране с два параметъра – интензивност λ и неравномерност β на постъпващия поток. Вероятността $P_i(t)$ да имаме i заявки за интервал от време t се дава от следната формула:

$$P_i(t) = \left(\frac{\lambda t}{1 + \beta \lambda t} \right)^i \frac{1(1 + \beta) \dots [1 + (i-1)\beta]}{i!} P_0(t) \quad (4.1)$$

където $P_0(t) = (1 + \beta \lambda t)^{-\frac{1}{\beta}}$.

Средната стойност $M(t)$ и дисперсията $V(t)$ на броя на постъпилите заявки за интервал от време t са съответно:

$$M(t) = \lambda t; \quad V(t) = \lambda t(1 + \beta \lambda t) \quad (4.2)$$

Коефициентът на неравномерност z на броя на постъпилите заявки е съответно:

$$z = \frac{V(t)}{M(t)} = 1 + \beta\lambda t > 1 \quad (4.3)$$

Обобщена формула на Полачек-Хинчин за Polya/G/1

Моделът на телетрафичната система Polya/G/1 е обобщение на горния модел. Система Polya/G/1 е с неравномерен процес на постъпване, описан с разпределението на Пойа, с интензивност λ , с коефициент на неравномерност на процеса на постъпване z , произволно разпределено време на обслужване (независимо от процеса на постъпване) със средна стойност τ и коефициент на вариации на времето на обслужване C_t .

Обобщението на формулата на Полачек-Хинчин за разпределение Polya/G/1 е получено с използването на рекурсията на Кендал. Средното време за чакане за такава система за масово обслужване (времето, което една заявка трябва да чака в опашката, за да бъде обслужена) е:

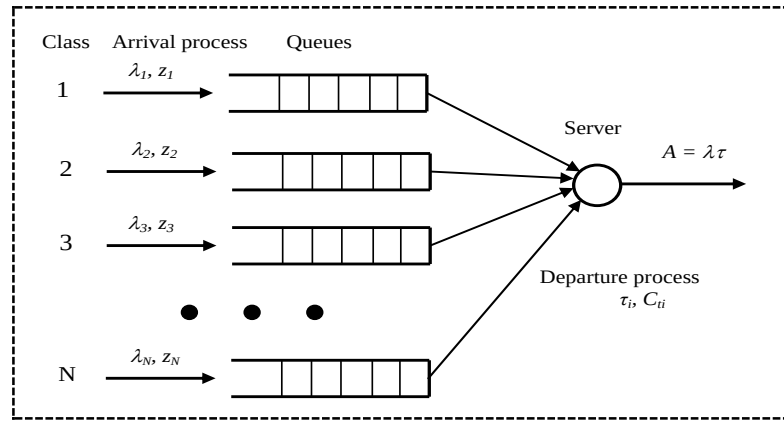
$$W_q = \frac{\tau(A + z - 1)(C_t^2 + 1)}{2(1 - A)} \quad (4.4)$$

$$W_q = \frac{R}{1 - k}, \quad (4.11) \quad \text{където} \quad k = (A^2 + z - 1)/(A + z - 1)$$

Телетрафична система Polya/G/1 с изпреварващ приоритет

В комуникационните мрежи постъпващите заявки често са разделени на N приоритетни класа, като заявките от клас p има по-висок приоритет от заявките от клас $p + 1$. В едноканалната система с изпреварващ приоритет, една нова заявка ще чака докато обслужващото устройство се освободи, дори ако в момента се обслужва заявка от по-нисък приоритет. Заявката ще чака също така и докато се обслужат всички заявки от по-висок приоритет, както и обслужването на по-рано постъпилите заявки от същото приоритетно ниво.

В едноканалната система с чакане Polya/G/1, заявките от клас i постъпват с интензивност на постъпване λ_i , коефициент на неравномерност z_i и средно време на обслужване τ_i . Постъпващият трафик е $A_i = \lambda_i \tau_i$. C_{ti} представлява коефициент на вариации на време на обслужване. В настоящето изследване използваме FIFO дисциплина на обслужване за всички приоритетни нива – фигура 4.1.



фигура 4.1. Обобщен модел на едноканална система Polya/G/1

Вместо да разглеждаме отделните процеси на постъпване, можем да използваме един постъпващ процес, който ще представя процесът на постъпване с разпределение на Пойа с интензивност:

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (4.12)$$

Полученият коефициент на неравномерност на постъпване става претеглена сума от коефициентите на неравномерност на отделните класове (комбинирани в паралел):

$$z = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda} z_i \quad (4.13)$$

Тогава общото средно време за обслужване е:

$$\tau = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda} \tau_i \quad (4.14)$$

и общият коефициент на вариации на времето на обслужване е:

$$C_t = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda_i}{\lambda} C_{ti} \quad (4.15)$$

Общият постъпващ трафик става:

$$A = \lambda \tau = \sum_{i=1}^N A_i = \sum_{i=1}^N \lambda_i \tau_i \quad (4.16)$$

Средното времето за дообслужване от обслужващото устройство от произволен момент става:

$$R = \sum_{i=1}^N R_i = \sum_{i=1}^N \frac{A_i \tau_i (C_{ti}^2 + 1)}{2} \quad (4.17)$$

Средното време за чакане за най-високия приоритет (W_{q1}) е сума от средното време за дообслужване от обслужващото устройство R и от средното време за чакане породено от обслужването на вече постъпилите и чакащи заявки от най-високото приоритетно ниво $\tau_1 L'_{q1}$, т.е.:

$$W_{q1} = R + \tau_1 L'_{q1} = R + k_1 W_{q1} \quad (4.18)$$

$$W_{q1} = \frac{R}{1 - k_1} \quad (4.19)$$

където $k_1 = (A_1^2 + z_1 - 1) / (A_1 + z_1 - 1)$

Със съответното обобщаване, средното време за чакане за клас p с изпреварващ приоритет може да се представи като:

$$W_{qp} = \frac{R}{1 - k'_p} + \sum_{i=1}^{p-1} A_i W_{qp} \quad (4.25)$$

$$W_{qp} = \frac{R}{(1 - k'_p)(1 - \sum_{i=1}^{p-1} A_i)} \quad (4.26)$$

където
$$k'_p = \frac{\left(\sum_{i=1}^p A_i\right)^2 + \sum_{i=1}^p \frac{z_i \lambda_i}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} - 1}{\sum_{i=1}^p A_i + \sum_{i=1}^p \frac{z_i \lambda_i}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} - 1} \quad (4.27)$$

Телетрафична система Polya/G/1 с прекъсващ приоритет

Разглеждаме система за масово обслужване от типа Polya/G/1 с прекъсващ приоритет. В този случай обслужването на заявка от нисък приоритет се прекъсва веднага при постъпването на нова заявка от по-висок приоритет. Обслужването на ниско приоритетната заявка ще бъде възобновено при освобождаване на обслужващото устройство. С други думи, за източниците с приоритет p заявки от по-ниско приоритетните нива все едно не съществуват. Такъв прекъсващ приоритет се използва обикновено за анализ на характеристиките на операционните системи, и при анализ на системите за действие при бедствия и аварии.

Средното време за чакане W_{qp} за заявки от приоритетен клас p е сумата от две компоненти:

1. Времето за чакане при обслужване на заявки със същия или по-висок приоритет, които вече са в опашките. Този случай е аналогичен с обслужването на заявка без приоритет, когато в системата постъпват заявки с интензивност равна на сумата от интензивностите от първи до p клас:

$$\sum_{i=1}^p R_i / (1 - k'_p) \quad (4.28)$$

2. Времето за чакане, породено от обслужването на заявките от по-високите приоритетни нива, които постъпват по време на чакането и обслужването за заявката от клас p , която прекъсват:

$$(W_{qp} + \tau_p) \sum_{i=1}^{p-1} \lambda_i \tau_p \quad (4.29)$$

От тези две компоненти можем да получим следната формула:

$$W_{qp} = \frac{\sum_{i=1}^p R_i}{1-k_p} + (W_{qp} + \tau_p) \sum_{i=1}^{p-1} A_i \quad (4.30)$$

от където получаваме:

$$W_{qp} = \frac{\sum_{i=1}^p R_i}{(1-k_p)(1-\sum_{i=1}^p A_i)} + \frac{\tau_p \sum_{i=1}^p A_i}{1-\sum_{i=1}^p A_i}. \quad (4.31)$$

За заявки с най-високия приоритет можем да ползваме формулата на Полачек-Хинчин само за този клас, тъй като обслужването на тези заявки не се влияе от ниско приоритетните такива:

$$W_{q1} = \frac{R_1}{1-k_1} \quad (4.32)$$

където k_1 се определя от (4.27).

Средната стойност на времето за чакане в опашката за заявки от ниво 2 е:

$$W_{q2} = \frac{R_1 + R_2}{(1-k_2)(1-A_1)} + \frac{\tau_2 A_1}{1-A_1} \quad (4.33)$$

където k_2 се определя от (4.27).

И средната стойност на времето за чакане в опашката за ниво 3:

$$W_{q3} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{(1-k_3)(1-A_1-A_2)} + \frac{\tau_3(A_1 + A_2)}{1-A_1-A_2} \quad (4.34)$$

където k_3 определяме от (4.27).

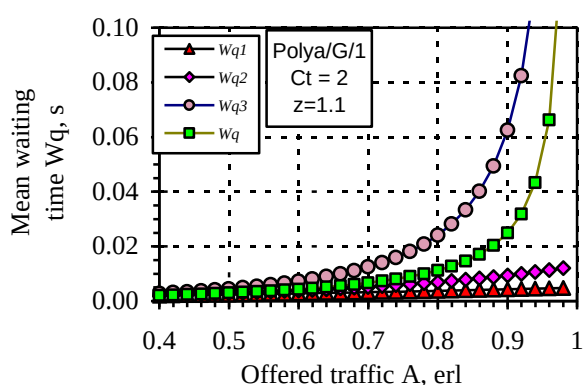
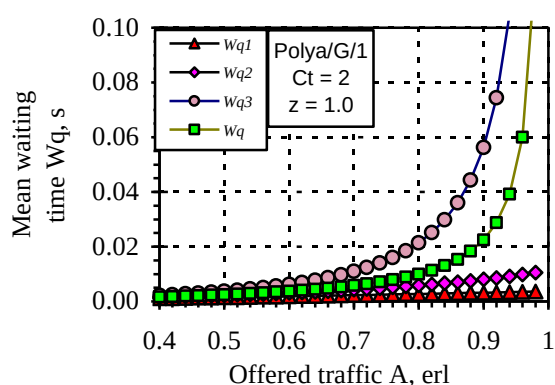
Числени резултати

С помощта на компютърна програма чрез формулите от предишните точки в тази глава са получени резултати за средното време за обслужване при определена стойност на неравномерността на броя постъпили заявки z , на коефициента на вариации на времето за обслужване C_t и на постъпващия трафик A .

На фигури 4.2.а, 4.2.б и 4.2.в са показани средните стойности на времето за чакане W_{qi} в модел Polya/G/1 с три приоритетни класа с изпреварващ приоритет във функция от постъпващия трафик A , като резултатите са дадени за стойности на коефициента на неравномерност на броя на постъпилите заявки $z = 1.0, 1.1$ and 1.5 , на коефициент на вариации на времето за обслужване C_t равен на 2. Постъпващият трафик в трите класа е еднакъв и времето за обслужване на трите класа също е равно, т.е. $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0.001$ s. На същата фигура е показано и средното време за чакане на система без приоритети W_q . Може да се види, че увеличението на коефициента на неравномерност на броя постъпили заявки води до увеличение на средното

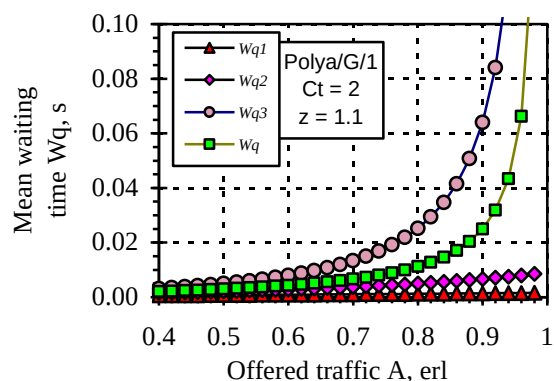
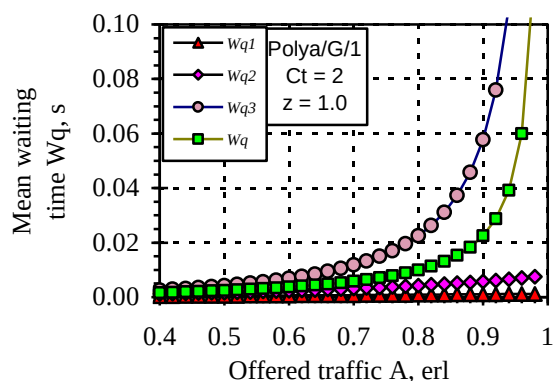
време за чакане във всеки един клас, но това увеличение е относително по-голямо при ниско приоритетните потоци в сравнение с високо приоритетните такива. Освен това времето за чакане в клас 3 е по-голямо от това в система без приоритети.

На фигури 4.3.а, 4.3.б и 4.3.в са показани средните стойности на времето за чакане W_{qi} в модел Polya/G/1 с три приоритетни класа с прекъсващ приоритет и същите стойности на постъпващите потоци както във фигура 4.2. Резултатите показват, че за времето за чакане за ниско приоритетните потоци нараства стръмно при доближаване на 1 Е постъпващ трафик и има по-висока стойност при по-голяма неравномерност на потока. Времето за чакане на ниско приоритетните потоци е по-голямо с използването на прекъсващ приоритет в сравнение с използването на изпреварващ приоритет.



неравномерност на входящия поток $z = 1.0$ и $z = 1.1$

фигура 4.2. Средно време за чакане в Polya/G/1 система с три изпреварващи приоритетни класа във функция от постъпващия трафик.



неравномерност на входящия поток $z = 1.0$ и $z = 1.1$

фигура 4.3. Средно време за чакане в Polya/G/1 система с три прекъсващи приоритетни класа във функция от постъпващия трафик.

Изводи

В тази глава са представени методи за анализ на едноканална система за масово обслужване при неравномерен постъпващ трафичен поток, описан с разпределението на Пойа и произволно разпределение на времето на обслужване, основани на обобщената формула на Полачек-Хинчин, на описанието с разпределението на Пойа на неравномерния постъпващ трафичен поток и на класическата система с приоритети M/G/1. Предложените методи за определяне на средното време за чакане в едноканалната система Polya/G/1 с изпреварващ и с прекъсващ приоритет позволяват по-точно оразмеряване на телекомуникационните мрежи.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

А. Научни приноси

Получените резултати с научен принос могат да се обобщят по следния начин:

1. Предложена е нов метод за приоритетно обслужване, базиран на изпреварващ приоритет с възможност за използване на прекъсващ приоритет с определена вероятност в диапазона от 0 до 1, които е приложим в Интернет мрежи.

2. Разработен е нов аналитичен модел на едноканална телетрафична система при неравномерен постъпващ трафичен поток, описан с разпределението на Пойа и произволно разпределение на времето на обслужване, основан на обобщената формула на Полачек-Хинчин и на обобщението на класическата система с приоритети M/G/1.

Б. Научно-приложни приноси

Приносите с научно-приложен характер могат да се обобщят както следва:

1. Разработен е симулационна платформа за изследване на приоритетно обслужване на IP трафика.

2. Предложени са методи за определяне на средното време за чакане в едноканалната система Polya/G/1 с изпреварващ и с прекъсващ приоритет.

В. Приложни приноси

Приносите с приложен характер могат да се обобщят както следва:

1. Изследвани са и са представени числени симулационни резултати на базата на апроксимирания модел на едноканална телетрафична система с чакане и приоритети, отчитащ различните подходи на обслужване в IP мрежата - IntServ, DiffSer и RSVP.

2. Проведени са измервания и са представени числени резултати върху реално работеща мрежа в лаборатория, в която са реализирани различни характеристики на IP потоци и приоритетно обслужване.

3. Проведени са измервания и са представени числени резултати за видео трафика в мрежа на мобилен оператор.

4. Проведено е симулационно моделиране и са представени числени резултати на видео трафикоизточници с помощта на симулационния пакет OMNET++.

5. Изследвани са и са представени числени резултати за едноканална система с чакане и приоритетното обслужване на IP пакети.

6. Представено е описание на постъпващи неравномерни процеси с разпределението на Пойа и на обобщената формула на Полачек-Хинчин при неравномерни трафични потоци.

7. Изследвани са и са представени числени резултати за едноканална система с чакане и приоритети при неравномерен входящ поток, описан с разпределението на Пойа.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Goleva, Rossitza Iv., Mariya At. Goleva, **Dimitar K. Atamian**, Tashko Ap. Nikolov, Kostadin At. Golev, Quality of Service System Approximation In IP Networks, Serdica Journal of Computing, BAS, IMI, Vol. 2, 2008, pp. 45-56, ISSN 1312-6555, **Google scholar**.

Goleva, R., Mirtchev, S., **Atamian, D.**, Dimitrova, D., Asenov, O., Experimental Analysis of QoS Provisioning for Video Traffic in Heterogeneous Networks, Joint ERCIM eMobility and MobiSense Workshop, in conjunction with WWIC 2012, Santorini, Greece, June, 2012, pp. 62-69, ISBN 978-3-9522719-3-3, **Google scholar**.

D. Atamian, B. Tsankov, Preemptive and Non-preemptive Service of IoT Traffic Flows, p.103 - 106. XLVII International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies, ICEST 2013, Proceedings of Papers, Vol. 1, Ochrid, Macedonia, pp. 103 - 106.

Д. Атамян, "Приоритетно обслужване на трафика в IoT", XXII национална конференция с международно участие Телеком 2014, София, 23-24 Октомври 2014, стр. 194 - 198.

Атамян Д., С. Мирчев, Р. Голева. Трафично изследване на приоритетното обслужване на IP трафик. Национална научно-техническа конференция с международно участие "Телеком 2016", София, 2016, стр. 21-28. ISSN: 1314-2690

Mirtchev S., R. Goleva, **D. Atamian**, I. Ganchev. Investigation of Priority Queue with Peaked Traffic Flows, Symposium on Applied Computing, SAC, France, ACM, 2018, pp. 1017-1019. ISBN: 978-1-4503-5191-1, doi>10.1145/3167132.3167407, **Google scholar**

SUMMARY

Traffic analysis in modern IP network

Assistant professor Dimitar Atamian

This PhD thesis deals with some major aspects of the analysis of the IP traffic in the communication networks today. It consists of four chapters.

The first chapter reviews the basic technologies, used in the IP networks today, and their impact on the QoS provided by the network. The chapter summarizes the main tasks which will be solved further in the work.

In the second chapter we perform measurement, analysis and simulations, with the aim to define the main parameters of the IP packets, which might occur in different cases. We simulate different QoS mechanisms – IntServ, DiffServ and RSVP. Also we collect some practical data in a laboratory network with multimedia traffic – VoIP calls, NetMeeting video conversations and file transfer session. CoS and MPLS tunnels are used. Aside of that we use read traffic data from a telecom provider in Ui interface of a mobile network. Detailed analyses are made and results are obtained which are further used.

Chapter three suggests an easy-to-use analytic model to evaluate M/M/1 and M/D/1 systems with preemptive and non-preemptive priority. We compare the analytic with simulation results to verify the model. Further we extend the simulation and propose a new priority discipline, which uses the preemptive priority with a predefined probability in the range from 0 to 1, which probability is used to apply the interruption (preemption) of the current low priority packet being served. With a C++ developed simulation platform we obtain some numeric results for the mean value of the waiting time and for the mean value of the queue length. The results include exponential and Pareto distribution of the arriving packets, exponential, fixed and bimodal distribution of the packet lengths, with different probability of the bimodal distribution and different parameter of the Pareto distribution.

In chapter four a new single-server priority queuing system with a peaked arrival process and generally distributed service time is analyzed by using the Polya distribution to describe the peaked traffic flows. The mean waiting time in the case of infinite number of waiting places is obtained using a generalized Pollaczek-Khinchin formula. It is shown that the performance of such delay systems varies vastly depending on the peakedness of the input flow. To the best of our knowledge, such a priority queuing system with a peaked arrival process is analyzed for the first time.