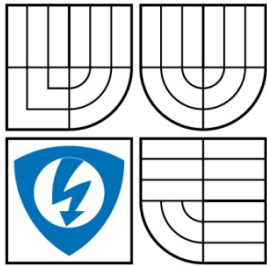


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ZAJIŠTĚNÍ QOS V UMTS SÍTI

QOS ASSURANCE IN UMTS NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

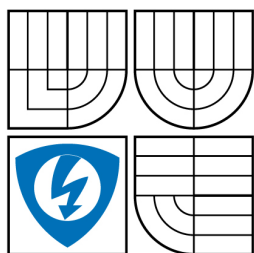
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. MARIÁN FABRICIUS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ HOŠEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Marián Fabricius

ID: 83813

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Zajištění QoS v UMTS síti

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s možnostmi zajištění kvality služeb v UMTS sítích. Provedte rozbor mechanismů pro přidělování požadované kvality spojení. Zaměřte se zejména na předávání parametrů mezi UTRAN síti a páteřní síti (CN). V simulačním prostředí Opnet Modeler vytvořte model UMTS sítě, ve kterém nakonfigurujte zajištění QoS po celé trase spojení. V páteřní síti použijte technologii ATM. Získané výsledky zdokumentujte formou grafů a tabulek.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KAARANEN, H.: UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services. Chichester: John Wiley & Sons, 2005, ISBN: 0470011033.
- [2] KREHER, R., RUEDEBUSCH, T.: UMTS Signalling: UMTS Interfaces, Protocols, Message Flows and Procedures Analyzed and Explained. Chichester: John Wiley & Sons, 2007, ISBN: 0470065334.
- [3] SOLDANI, D., LI, M., CUNY, R.: QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems. Chichester: John Wiley & Sons, 2006, ISBN: 0470016396.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 26.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Jiří Hošek

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá přidělováním a zabezpečováním kvality služeb v mobilních telekomunikačních sítích UMTS. Práce se skládá ze dvou částí: teoretické a praktické. Teoretická část je zaměřena na seznámení se s fungováním UMTS sítě přičemž hlavní důraz je kladen především na přístupový mechanismus v rádiové části a taktéž na mechanismy zabezpečování kvalitativních parametrů na základě požadavků jednotlivých služeb v páteřní části UMTS sítě. Praktická část je potom věnována simulačnímu prostředí OPNET Modeler a možnostem jeho využití v rámci návrhu a testování parametrů UMTS sítě s implementovanými mechanismy kvality služeb. Přínosem diplomové práce se tak stává vytvořený funkční model UMTS sítě s možností vlastního variabilního nastavení parametrů jednotlivých komponentů, jak na uživatelském zařízení, tak i na uzlových prvcích sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA

QoS, kvalita služeb, UMTS, Opnet Modeler, ATM, CAC algoritmus, mechanismy přidělování QoS

ABSTRACT

Diploma thesis deals with assign and distribution quality of service in mobile UMTS telecommunication networks. The project consists of two parts, theoretical and practical. Theoretical part of the project is focused to familiarize with functionality of the UMTS network with the main aspect at admission mechanism in radio part of the network as well as quality of service assign mechanisms according to service demands within core network of UMTS. Practical part of the project is given to simulation program OPNET Modeler and its capabilities in network design and testing various parameters of UMTS network with implementation quality of service mechanism. As the asset of diploma thesis becomes designed functional prototype of UMTS network with various options for individual settings user equipment as well as fixed mobile networks nodes.

KEYWORDS

QoS, Quality of Service, UMTS, Opnet Modeler, ATM, CAC algorithm, mechanism for distribution QoS

FABRICIUS, M. *Zajištění QoS v UMTS síti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hošek.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému „Zajištění QoS v UMTS síti“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho semestrálneho projektu a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohto projektu som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia § 152 trestného zákona č. 140/1961 Sb.

V Brne dňa

.....

podpis autora

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce za odborné vedenie, užitočnú metodickú pomoc a cenné rady, ktoré mi pomáhali prekonať a vyriešiť problémy spojené s vypracovaním práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať ústavu telekomunikácii za poskytnutie priestorov a vybavenia potrebného pre výskumnú činnosť spojenú s realizáciou projektu.

Taktiež ďakujem mojej rodine a mojím blízkym za značnú psychickú podporu pri prekonávaní problémov s prácou spojených.

Obsah

1	Úvod	9
2	Úvod do problematiky UMTS sietí	10
	2.1 Vývoj mobilných sietí	10
	2.2 Technologické pozadie UMTS	12
	2.2.1 FDD mód / TDD mód	12
	2.2.2 Architektúra UMTS siete	14
3	QoS (Quality of Service)	16
	3.1 Úvod do kvality služieb	16
	3.2 Vývoj QoS	16
4	QoS v UMTS sieťach	18
	4.1 Triedy kvality služieb v sieťach UMTS	19
	4.2 QoS manažment v prístupovej sieti UTRAN	22
	4.2.1 Kontrola prístupu (Admission Control).....	22
	4.2.2 Kontrola zaťaženia (Load Control)	27
	4.2.3 Kontrola výkonu (Power Control).....	27
	4.3 Mechanizmy riadenia QoS v chrbticovej časti siete.....	27
	4.3.1 Klasifikácia paketov	28
	4.3.2 Plánovanie paketov.....	28
	4.3.3 Správa front	30
	4.4 Funkcie QoS manažmentu.....	31
	4.4.1 Kontrolný plán UMTS QoS manažmentu	31
	4.4.2 Užívateľský plán UMTS QoS manažmentu	32
5	ATM v UMTS sieťach	33
	5.1 ATM – asynchronous transfer mode	33
	5.2 ATM adaptačné vrstvy	35
6	Simulovanie mobilných sietí v prostredí Opnet Modeler	38
	6.1 Model UMTS siete s implementáciou QoS parametrov.....	39
	6.1.1 Nastavenie jednotlivých prvkov siete.....	41
	6.2 Výsledky simulácií	55
	6.2.1 Kvalita hlasovej komunikácie	55
	6.2.2 Kvalita videokonferencie.....	58
	6.2.3 Vyhodnotenie FTP prenosu.....	60
	6.2.4 Porovnanie výsledkov simulácie s reálnymi požiadavkami.....	62
	6.2.5 Porovnanie QoS mapovania do ATM adaptačných vrstiev	63
7	Záver	65
8	Použitá literatúra	67
	Zoznam skratiek	69

Zoznam obrázkov

Obr. 2.1: Vývoj mobilných sietí a ich hlavné rysy	11
Obr. 2.2: Rozdelenie frekvenčného spektra [13]	12
Obr. 2.3: FDD duplexný mód a TDD duplexný mód	13
Obr. 2.4: Frekvenčné pásma pre FDD mód a TDD mód	14
Obr. 2.5: Model telekomunikačnej siete UMTS s kooperáciou GSM	15
Obr. 4.1: QoS model v UMTS sieťach [12]	18
Obr. 4.2: Zaťažovacia krivka nového spojenia [4]	24
Obr. 4.3: Kontrolný plán funkcií pre zaistenie kvality služieb [6]	31
Obr. 4.4: Užívateľský plán funkcií pre zaistenie kvality služieb [6]	32
Obr. 5.1: Štruktúra ATM bunky	34
Obr. 5.2: Štruktúra ATM bunky na rozhraní UNI a rozhraní NNI	34
Obr. 5.3: Podvrstvy adaptačnej vrstvy AAL	35
Obr. 6.1: Model UMTS siete	39
Obr. 6.2: Vytváranie aplikácií v bloku "Application Definition"	41
Obr. 6.3: Nastavenie HTTP aplikácie	43
Obr. 6.4: Nastavenie sťahovaného obsahu z HTTP servera	43
Obr. 6.5: Nastavenie aplikácie pre hlasovú službu	44
Obr. 6.6: Nastavenie parametrov video aplikácie	45
Obr. 6.7: Možnosti nastavenie Type of Service	46
Obr. 6.8: Časová os parametrov simulácie	47
Obr. 6.9: Príklad nastavenia aplikačných profilov	48
Obr. 6.10: Príklad nastavení parametrov v RNC	49
Obr. 6.11: Príklad nastavenia parametrov základovej stanice Node_B	51
Obr. 6.12: Aplikácie prevádzkované FTP a HTTP serverom	52
Obr. 6.13: MOS hodnota hlasovej služby	56
Obr. 6.14: Hlasová služba - oneskorenie typu End-to-End	56
Obr. 6.15: Hlasová služba - prijímaný prenos užívateľským zariadením UE_voice_prijima ..	58
Obr. 6.16: Video služba - prijímaný prenos užívateľským zariadením UE_video_vola, ftp ...	59
Obr. 6.17: Video služba - oneskorenie typu End-to-End na už. zariadení UE_video_vola,ftp	59
Obr. 6.18: FTP služba - prijímaný prenos už. zariadením UE_video_vola,ftp na TCP vrstve	61
Obr. 6.19: FTP služba – prijímaný prenos paketov už. zariadením UE_video_vola,ftp	61
Obr. 6.20: Hlasová služba - oneskorenie typu End-to-End pri použití AAL2/AAL5	63
Obr. 6.21: Hlasová služba - MOS hotnota pri použití AAL2/AAL5	64
Obr. 6.22: Video služba - oneskorenie typu End-to-End pri použití AAL2/AAL5	64

Zoznam tabuliek

Tab. 4.1: Požiadavky jednotlivých QoS tried na parametre prenosu	20
Tab. 4.2: QoS atribúty UMTS nosnej služby	22
Tab. 5.1: Služby pripadajúce do jednotlivých ATM tried	37
Tab. 6.1: Prvky použité v navrhnutom scenári siete UMTS	40
Tab. 6.2: Nastavenie parametrov jednotlivých FTP aplikácií	42
Tab. 6.3: Priradenie kvalitatívnych tried jednotlivým službám siete	46
Tab. 6.4: Časové nastavenia jednotlivých aplikácií	47
Tab. 6.5: Nastavenie mapovania UMTS QoS parametrov do ATM adapt. tried a služieb	51
Tab. 6.6: Názvy jednotlivých UE, aplikácie ktoré využívajú a ich vzájomná väzba	53
Tab. 6.7: Nastavenia bitových rýchlostí na jednotlivých užívateľských zariadeniach.....	54
Tab. 6.8: Priemerné oneskorenie typu End-to-End podľa jednotlivých scenárov simulácie ...	57
Tab. 6.9: Porovnanie požadovaných a zmeraných parametrov jednotlivých služieb.....	62

1 Úvod

UMTS siete sa radia medzi siete tretej generácie a sú nástupcom GSM systémov, ktoré už svojimi schopnosťami nedokázali reagovať na rýchle sa zvyšujúci dopyt po nových službách ako napríklad video konferencie alebo rýchly dátový prenos. V ponukách operátorov je tak možné v dnešnej dobe nájsť široké spektrum služieb zameraných nie len na hlasovú komunikáciu ale taktiež na interaktívne služby v reálnom čase a dátové prenosi spojené v dnešnej dobe s masívne využívaným internetom. Rozličnosť služieb však so sebou prináša i nutnosť ich správneho riadenia z hľadiska kvality služieb a určovania ich priority. Na tieto účely sa v súčasných sieťach používa množstvo mechanizmov na zabezpečenie požadovaných prenosových parametrov, a tak na dnešných účastníckych koncových zariadeniach je možné uskutočňovať i niekoľko služieb zároveň bez toho, aby nedochádzalo k degradovaniu prioritnej komunikácie. Tieto mechanizmy sa nachádzajú tak ako na strane prístupovej časti siete, tak i na strane chrbticovej časti siete a zabezpečujú požadovanú kvalitu komunikácie pozdĺž celej trasy prenosu. V prípade nedostatočného návrhu kvality služieb by dochádzalo k vzájomnému ovplyvňovaniu sa jednotlivých aplikácií, čo by v konečnom dôsledku zhoršovalo komunikačné vlastnosti prenosu koncových užívateľov.

Cieľom diplomovej práce s názvom „Zaistenie QoS v UMTS sieťach“ je preto bližšie sa oboznámiť a preštudovať problematiku UMTS sietí s hlavným zameraním sa na zaistenie a poskytovanie požadovanej kvality služieb (QoS) v týchto sieťach prostredníctvom rôznych mechanizmov na to určených. Veľká váha diplomovej práce je pritom kladená na mechanizmus prístupu účastníckych zariadení do siete ako aj na QoS parametre na strane chrbticovej časti UMTS siete.

Projekt pozostáva z dvojice tematických častí. Časť teoretická oboznámi čitateľa s hlavnými princípmi fungovania kvality služieb v UMTS sieťach a mechanizmami na ich zabezpečenie. Časť praktická sa venuje vytvoreniu modelu UMTS siete v simulačnom programe Opnet Modeler s hlavným zreteľom na možnosti implementácie parametrov kvality služieb. Výsledkom simulačnej práce je funkčný model UMTS siete s nastavenými QoS parametrami porovnaný s požiadavkami na prenos komunikácie v reálnej telekomunikačnej sieti.

2 Úvod do problematiky UMTS sietí

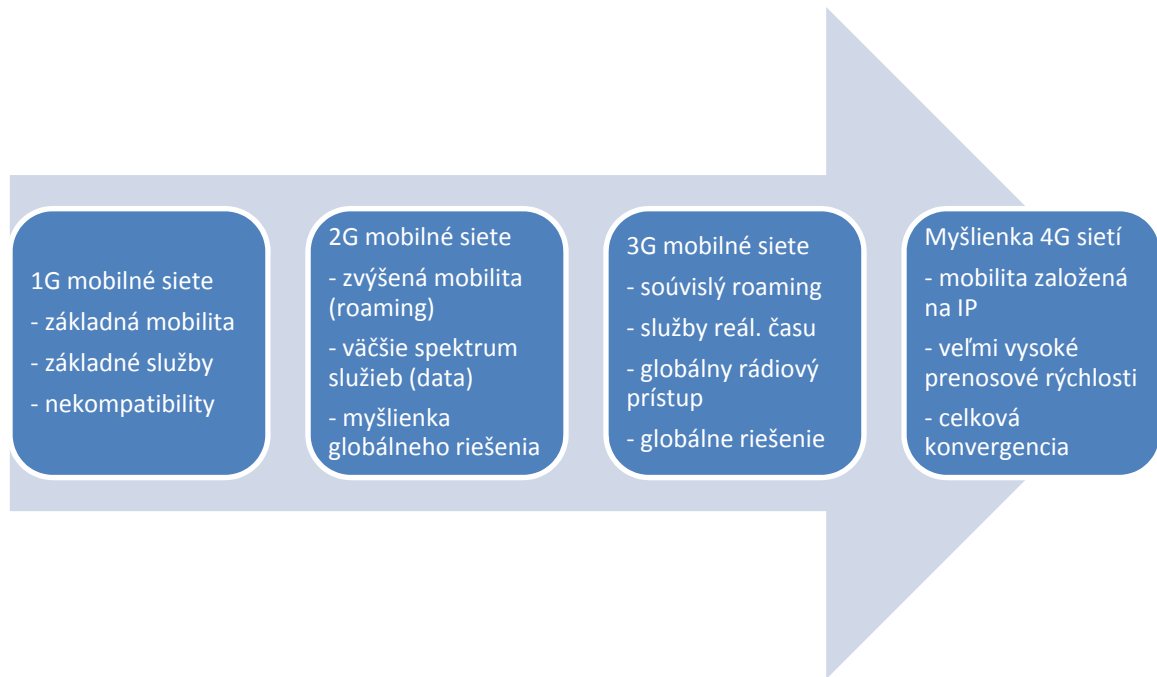
2.1 Vývoj mobilných sietí

Vývoj mobilných sietí sa datuje do stredného obdobia osemdesiatych rokov 20. storočia. V tejto dobe vznikali prvé generácie mobilných sietí (1G), ktoré boli založené na analógových princípoch. Jednalo sa o sieť NMT (Nordic Mobile Telephone) a AMPS (American Mobile Phone System). Siete prvej generácie ponúkali zväčša základné užívateľské služby s majoritným zameraním sa na hlasovú službu. Vznikali však ako dohoda medzi firemným sektorom a vládnymi organizáciami daného štátu, neprijímali sa globálne špecifikácie a tak tento fakt spôsobil, že jednotlivé siete prvej generácie neboli medzi sebou kompatibilné a účastníkom neposkytovali voľný pohyb.

Pre zvyšujúce sa potreby mobilnej komunikácie vznikla taktiež potreba vytvoriť globálny mobilný telekomunikačný systém, s ktorým by užívatelia neboli obmedzovaní regiónom pôsobnosti stávajúcej mobilnej siete, ako to bolo u mobilných systémov prvej generácie. Pri vývoji 2G sietí sa teda kládol najväčší dôraz na transparentnosť. Vďaka nej sa pre užívateľov stala mobilná komunikácia omnoho prítlačlivejšia ako kedykoľvek predtým. Siete druhej generácie navyše zavádzali okrem hlasových služieb aj jednoduché dátové služby, čím dokázali osloviť ešte širšie spektrum zákazníkov. Aj napriek snahe sa ale nepodarilo systému 2G siete zabezpečiť úplnú globalizáciu a na trhu sú tak viaceré siete druhej generácie. Technický a komerčný úspech však prekonal všetky očakávania. Prvý verejný hovor v GSM sieti bol uskutočnený 1. júla 1991 v Helsinkách.

Vývoj sietí tretej generácie (3G siete) si tak kládol za cieľ ponúknuť úplnú globalizáciu a transparentnosť naprieč rôznymi regiónmi a vyplniť tak diery, ktorá bola v systémoch druhej generácie. 3G siete mali byť navyše založené na technickej vyspelosti GSM sietí. Dôvod bol jasný, GSM siete sú v dnešnej dobe masovo rozšírené a stále je v nich potenciál ďalšieho využitia. V dnešnej dobe UMTS siete ponúkajú široké spektrum služieb a využitie tak nachádzajú nielen v hlasovej a jednoduchej dátovej komunikácii ale tiež v ďalších službách s podporou reálneho času a internetovej komunikácie. Tomu napomáha aj pomerne vysoká prenosová rýchlosť, ktorá môže dosahovať až na hodnotu 2 Mbit/s. Súčasnými vylepšeniami 3G sietí sa vyvinuli technológie, ktoré posúvajú hranice prenosových rýchlostí, či už v uplink móde alebo downlink móde, ešte na vyššie méty. Tieto vylepšenia tak spadajú do označenia 3,5G.

Myšlienky a úvahy o vývoji sietí tretej generácie siahajú až do obdobia pred samotným dokončením štandardizácie systémov druhej generácie. Z historického hľadiska sa významný krok udial v roku 1992, keď na medzinárodnej konferencii ITU (International Telecommunications Union) bolo stanovené, že budúce siete tretej generácie budú používať frekvencie okolo 2 000 MHz, ktoré boli voľné pre použitie nového mobilného systému. Nastávajúcí systém novej generácie bol nazvaný IMT-2000 (International Mobile Telephony 2000), pričom číslo 2 000 symbolizuje práve používané frekvencie okolo 2 000 MHz.



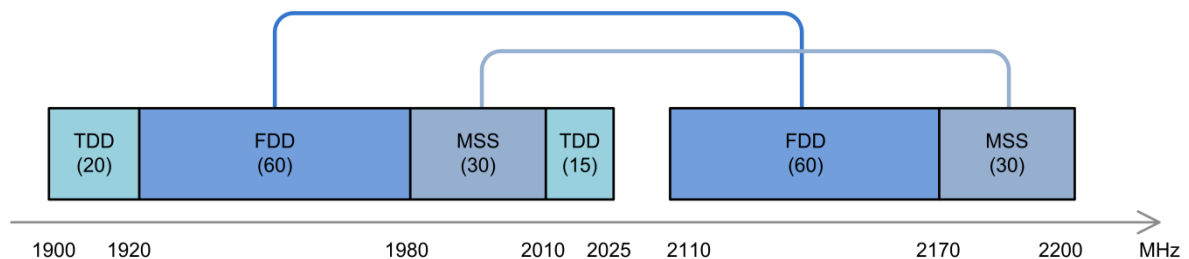
Obr. 2.1: Vývoj mobilných sietí a ich hlavné rysy

Neskôr bol projekt IMT-2000 premenovaný na UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), teda na názov, pod ktorým ho poznáme aj v dnešnej dobe. Za hlavný cieľ si siete tretej generácie kládli hlavne vytvorenie jednotného globálneho prístupového rozhrania. V Európe a Ázii tak pre rádiový prístup bola nasadená technológia WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) s predurčenými frekvenciami v okolí hranice 2 000 MHz. Avšak v Severnej Amerike bola situácia odlišná. Spektrum určené pre systémy tretej generácie bolo už obsadené stávajúcimi systémami druhej generácie PCS 1900, a tak riešením prekrývajúcich sa spektier sa stalo použitie technológie zabezpečujúcej koexistenciu oboch systémov v danom frekvenčnom rozsahu.

2.2 Technologické pozadie UMTS

Pretože v ďalšom texte bude písané o rôznych technologických podskupinách UMTS sietí, na úvod bude krátko rozobrané technologické pozadie UMTS sietí.

Frekvenčné spektrum, ktoré bolo alokované pre 3G siete v Európe a vo väčšinovej časti Ázie sa skladá s dvoch 60 MHz pásiem (1 920 – 1 980 MHz a 2 110 – 2 170 MHz) pre prístup FDD WCDMA. Pre TDD prístup sú alokované frekvenčné pásma (1 900 – 1 920 MHz a 2 010 – 2 025 MHz). Kanálová šírka pásma pritom predstavuje pre obidva prístupy šírku 5 MHz. Frekvenčné pásma o šírke 30 MHz v rozmedzí 1 980 – 2 010 MHz a 2 170 – 2 200 MHz sú vymedzené pre družicovú satelitnú komunikáciu systému MSS (Mobile Satellite Service). Rozdelenie frekvenčného spektra v systéme UMTS (IMT-2000) zobrazuje obrázok 2.2.

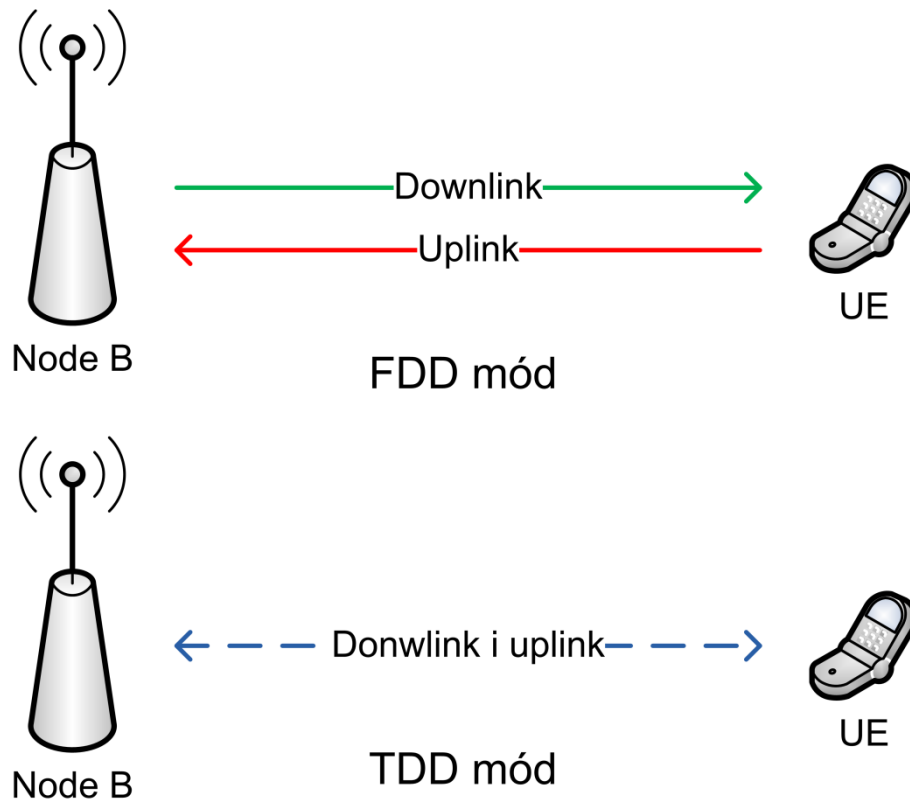


Obr. 2.2: Rozdelenie frekvenčného spektra [13]

2.2.1 FDD mód / TDD mód

V telekomunikačných systémoch sa používajú rôzne duplexné metódy pre šírenie signálu. Najznámejšie metódy sú FDD (Frequency Division Duplex), TDD (Time Division Duplex) a SDD (Space Division Duplex). Najrozšírenejšiu duplexnú metódu v mobilných systémoch predstavuje FDD, ktorá sa používa i v GSM sieťach a tiež v sieťach UMTS. FDD duplexná metóda je párová, naproti tomu TDD je nepárová. FDD teda používa pre dva rôzne smery prenosu (uplink a downlink) frekvenčne oddelené cesty signálu. Naproti tomu TDD duplexná metóda používa pre obidva smery prenosu, čiže aj pre uplink aj pre downlink, jeden frekvenčný kanál, jednotlivé smery prenosu sú ale oddelené časovou diferenciou. Duplex TDD nachádza využitie hlavne na poli služieb s dátovými prenosmi. To je dôsledok najmä možnosti asymetrického prenosu dátových informácií, ktorý je vhodný hlavne pre internetové služby ako napríklad klasické prehliadanie internetu, keď užívateľ posiela do siete svoje požiadavky na zobrazenie danej internetovej stránky vo veľmi malých dátových tokoch

(uplink) a využíva najmä príjem (downlink), ktorý prebieha v podstatne väčších dátových prenosoch. Naproti tomu FDD mód využíva pre službu prehliadanie internetu pomer uplink, downlink 1:1 čo vedie k značnej neefektívnosti využívania siete.

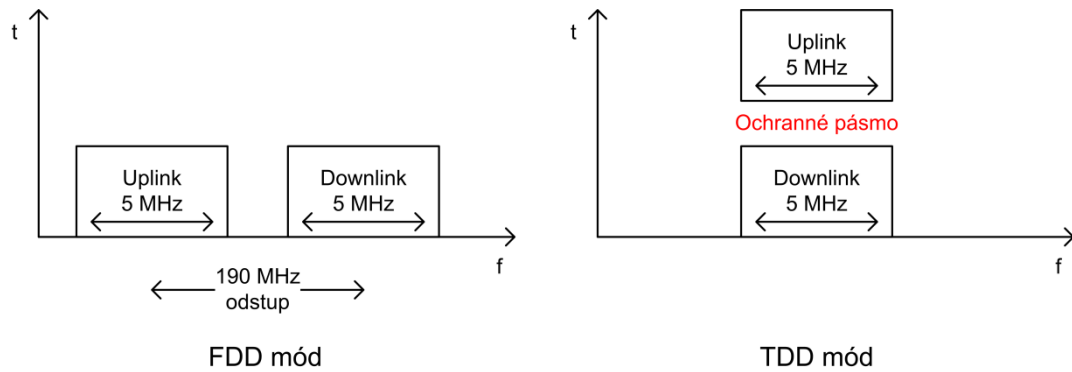


Obr. 2.3: FDD duplexný mód a TDD duplexný mód

Ako vidno z obrázku 2.3, FDD mód je podstatne vhodnejší pre bežné hlasové služby, pretože smer uplink (od účastníka k Node B) je frekvenčne oddelený od smeru downlink (od Node B k účastníkovi). Frekvenčné oddelenie medzi touto dvojicou smerov predstavuje 190 MHz.

V každom frekvenčnom pásme sa nachádzajú kanálové pásma, ktoré majú šírku 5 MHz. Teoreticky tak napríklad pre FDD mód sa v jednom smere prenosu môže nachádzať až 12 kanálových pásiem o šírke 5 MHz. V oboch smeroch, tzn. v uplinku aj downlinku je tak možné vyhradiť frekvenčný priestor až pre 24 kanálových pásiem.

Pri TDD systémoch je pre downlink aj uplink určené jedno frekvenčné pásmo. Z toho dôvodu je nutné aby existovala medzi jednotlivými smermi prenosu istá ochranná doba. Tú predstavuje časové oneskorenie vysielania pri požiadavke na zmenu smeru prenosu, a tým sa zabezpečí, že napríklad pri neočakávanom oneskorení predchádzajúceho prenosu nenastane kolízia signálov (obr. 2.4).



Obr. 2.4: Frekvenčné pásma pre FDD mód a TDD mód

2.2.2 Architektúra UMTS siete

Sieť UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) pozostáva z niekoľkých hlavných častí. Tými sú CN (Core Network), UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) a RNS (Radio Network Subsystem). Model architektúry siete UMTS spolu s kooperáciou stávajúcich sietí GSM je zobrazený na obrázku 2.5.

CN (Core Network)

- Tvorí jadro siete a zaisťuje spojovacie funkcie nielen v rámci danej siete ale tiež prepojovanie z externými sieťami (prepojovanie účastníkov, funkcie smerovania paketov, prepojovanie do externých sietí). Taktiež spravuje dôležité užívateľské informácie ako napríklad polohu účastníkov, zabezpečenie a tarifikáciu služieb.
- Skladá sa z dvoch domén. CS (Circuit Switched) doména obsahuje MSC (Mobile Services Switching Centre), VLR (Visitor Location Register) a GMSC (Gateway MSC). PS (Packet Switched) doména obsahuje SGSN (Serving GPRS Support Node) a GGSN (Gateway GPRS Support Node). Niektoré sieťové prvky ako napríklad EIR (Equipment Identify Register), HLR (Home Location Register), AuC (Authentication Centre) sú zdieľané medzi obidvomi doménami.

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

- Tvorí prístupové rozhranie pre komunikáciu účastníkov so sieťou. Obsahuje prvky RNC (Radio Network Controller) a Node B (základová stanica).

RNS (Radio Network Subsystem)

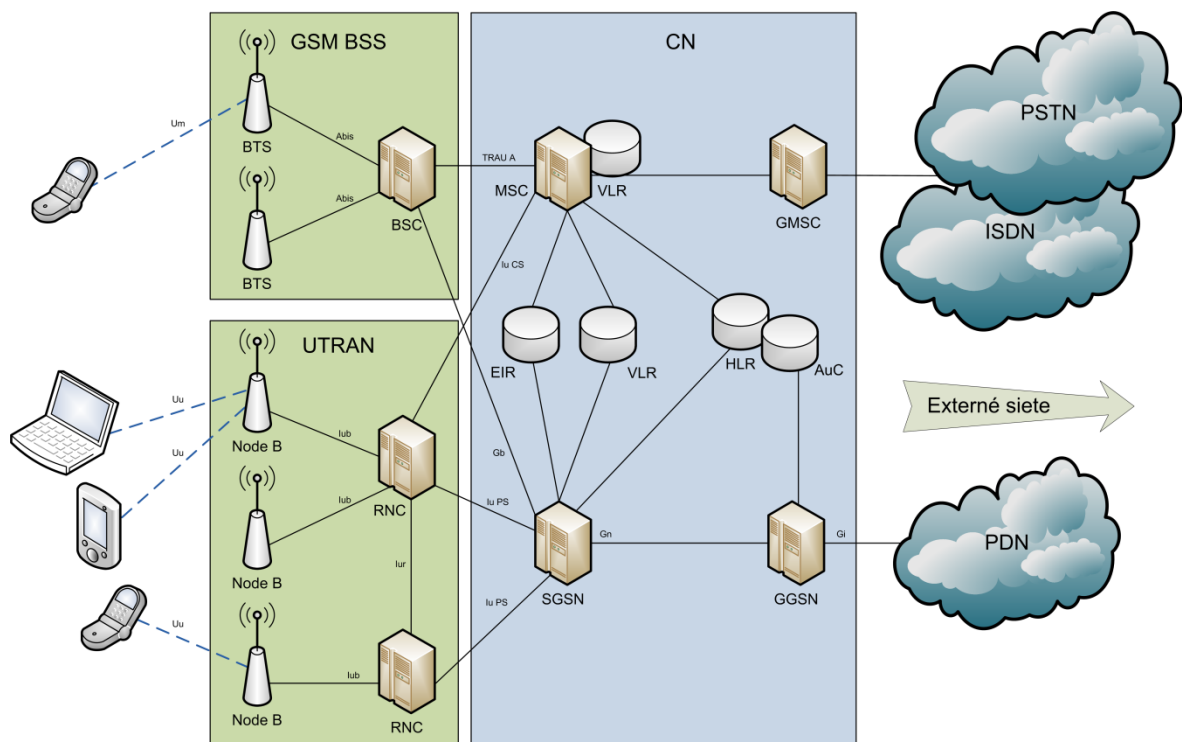
- Pozostáva z jednej RNC (Radio Network Controller) a niekoľkých Node B (základová stanica), ktoré sú pripojené na danú RNC.

RNC (Radio Network Controller)

- Spravuje jednotlivé základové stanice (Node B), ktoré sú k danému RNC pripojené a tiež ich oblasť pokrytého územia.
- Na jedno RNC môže byť pripojených až do 200 základových staníc Node B. Niekoľko Node B a jedna RNC tak vytvárajú takzvaný rádiový subsystém RNS (Radio Network Subsystem).
- Má na starosti správu rádiových zdrojov, správu rozhraní, ktoré sa k RNC viažu a tiež niektoré funkcie manažmentu mobility.

Node B (Základová stanica)

- Spravuje oblasť svojho pokrytia a predstavuje prvý prístupový bod siete pre účastnícke zariadenie



Obr. 2.5: Model telekomunikačnej siete UMTS s kooperáciou GSM

3 QoS (Quality of Service)

3.1 Úvod do kvality služieb

Druhá generácia mobilných systémov bola vyvíjaná prevažne pre klasickú hlasovú službu pretože v tom čase mala práve táto služba majoritné zastúpenie až 75% v konkurencii ostatných mobilných služieb ponúkaných GSM sieťami. Avšak s nástupom masívneho rozvoja internetu zákonite rástol aj jeho vplyv na mobilné siete. To viedlo k zvýšeným požiadavkám na dátové prenosy a k nutnosti integrovať do mobilných sietí schopnosti pre internetový i hlasový prenos súčasne. Hlavné dôvody tejto integrácie boli najmä optimalizácia využitia pásma, minimalizácia ekonomických nárokov, využívanie nových kódovacích schém a kompresných algoritmov a možnosť poskytnúť užívateľom nové multimediálne služby. Tieto benefity je možné nájsť práve v mobilných sieťach tretej generácie, ktoré boli navrhnuté pre prenos paketovo a okruhovo prepínaných aplikácií.

Dôležitá vlastnosť systému UMTS je, že informácia, ktorá je generovaná nezávislým zdrojom môže byť efektívne multiplexovaná na tom istom prenosovom médiu. UMTS podporuje prenos dát s veľmi rozdielnymi šírkami pásma a požiadavkami na kvalitu služieb. Rôzne služby tak majú rôzne požiadavky na prenos, a tak napríklad služba prenosu dát je citlivá hlavne na stratu paketov a naopak, nie je veľmi citlivá na oneskorenie alebo jitter. Na strane druhej, služba prenosu hlasu je citlivá najmä na oneskorenie, ktoré by nemalo presahovať hodnotu 200 ms [15].

Hlavný cieľ UMTS infraštruktúry je tak možnosť prenášať rôzne typy aplikácií na jednom médiu v plnom záujme komunikujúcich objektov, tzn. tak ako užívateľa a konzumenta mobilnej služby, ktorý má záujem o kvalitné služby hlavne na aplikačnej úrovni, tak i operátora siete, ktorý má záujem o efektívne využívanie sieťových zdrojov vedúce k znižovaniu ekonomickej náročnosti na prevádzku siete a v konečnom dôsledku aj na služby.

3.2 Vývoj QoS

Nový vzor QoS sa objavil s nástupom paketovo založených sietí. V tradičných sieťach založených na prepínaní okruhov, ako sú napríklad pevné telefónne siete, je QoS v podstate reprezentované ako rezervovaný okruh, ktorý je vytvorený počas celej doby pre každé telefónne spojenie. Zdroje sú v takomto prípade rezervované na začiatku spojenia a tento stav trvá až pokiaľ obidve komunikujúce strany daný hovor neukončia. Tento spôsob ale

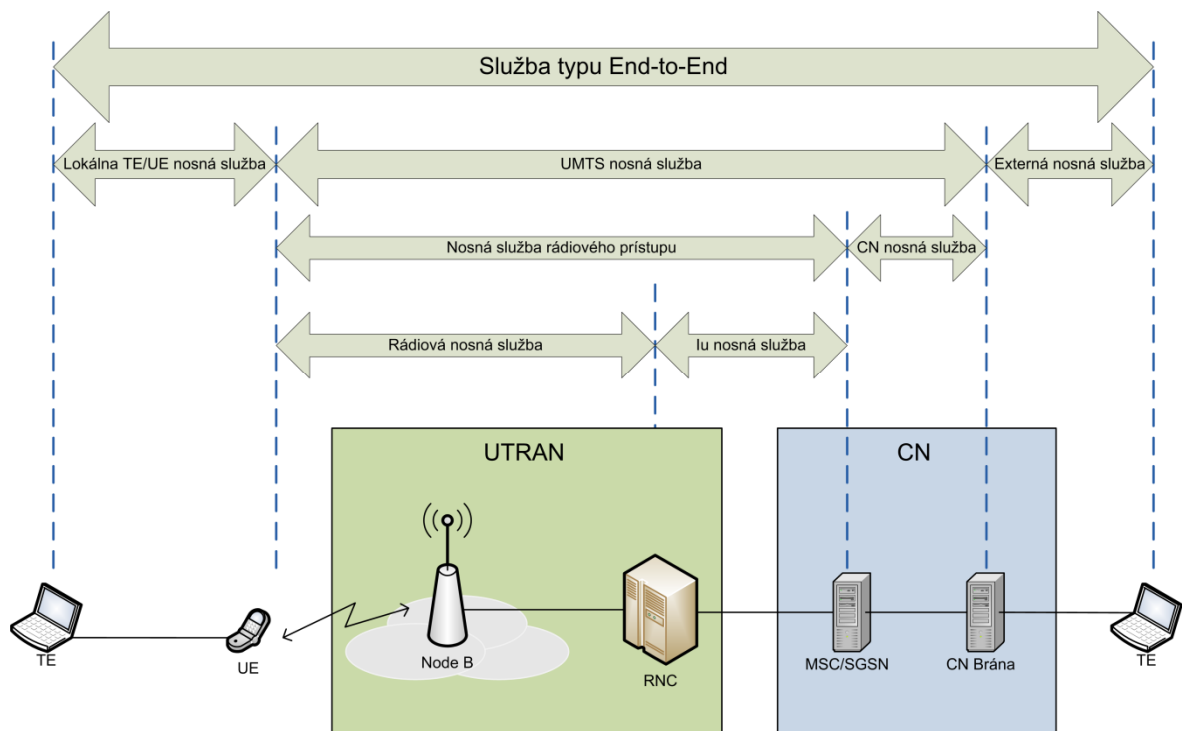
neposkytuje efektívne využívanie zdrojov, pretože okruh je rezervovaný počas celého spojenia a nie je možné využívať ho inými účastníkmi. V paketovo prepínaných sieťach pre zabezpečenie efektívnej správy sieťových zdrojov nie je využívaný pevný rezervovaný okruh. Ich účinné využívanie v paketových sieťach pramení z flexibility a ich správneho priradovania vzhľadom na požiadavky jednotlivých služieb. Rôzne služby majú rôzne požiadavky a rôzne kritéria pre svoje správne fungovanie a je tak nevyhnutné aby aj priradovanie zdrojov prebiehalo podľa určitých pravidiel. Medzi základné aspekty, ktoré ovplyvňujú fungovanie služieb patrí [15]:

- **Premenlivá bitová rýchlosť** – tento parameter je využívaný hlavne pri interaktívnych službách akou je napríklad aj interaktívna hra, pri ktorej nie je vyžadované komunikovať zo sieťou konštantnou bitovou rýchlosťou ale komunikácia skôr prebieha na základe rôzne veľkých dátových objemoch v čase.
- **Náchylnosť na oneskorenie** – tolerancia oneskorenia je pri rôznych aplikáciách odlišná. Niektoré aplikácie ako napríklad klasická telefónna služba, ktorá je náchylná na oneskorenie v čase, vyžaduje konštantný tok dát bez oneskorenia, ktoré by pre zúčastnené strany znamenalo výrazné zhoršenie kvality komunikácie. Naproti tomu služba FTP je schopná tolerovať isté oneskorenie doručovania jednotlivých paketov, pretože toto oneskorenie neznehodnotí prenos tak, ako je tomu u telefónnej služby.
- **Náchylnosť na chyby prenosu** – chybovosť prenosu je dôležitý parameter najmä pri FTP službe, kde jej zvýšená hodnota môže pre komunikujúceho užívateľa znamenať stratu celého súboru a teda i znehodnotenie celej komunikácie. V takomto prípade je potom nutné žiadať o opätovné vyslanie chybne prijatých paketov čím v konečnom dôsledku narastá i časová náročnosť prenosu. Naopak, telefónna služba je viac tolerantná k zvýšenej chybovosti. Taktiež nie je nutné žiadať o opätovné vysielanie chybne prijatých dát. Prenos hlasu nie je na chybovosti tak závislý ako FTP prenos.
- **Šírka pásma** – veľmi dôležitý parameter vzťahujúci sa hlavne na službu prenosu videa v reálnom čase, ktorá vyžaduje garantovanú šírku pásma pre svoje správne fungovanie.

4 QoS v UMTS siet'ach

V záujme poskytnúť užívateľovi službu so špecifikovanými QoS požiadavkami, musí byť po celej prenosovej ceste od zdroja informácie až k adresátovi korektne nastavená nosná služba s jasne definovanými charakteristickými vlastnosťami a funkcionalitou. Pretože ale cesta typu End-to-End (koniec-koniec) prechádza naprieč rozličnými úrovňami systému, ktoré majú vlastné QoS vlastnosti, QoS je riadené a i rozdeľované v týchto rozličných častiach so zreteľom na osobitné vlastnosti každého komponentu siete. V tomto spleťtom systéme tak UMTS QoS mechanizmy poskytujú a zabezpečujú mapovanie medzi požiadavkami jednotlivých aplikácií a UMTS službami.

Na obrázku 4.1 je zobrazená architektúra kvality služieb QoS v UMTS siet'ach vzhľadom na jednotlivé vrstvy modelu. Ako vidno, každá nosná služba na daných špecifických vrstvách ponúka svoje individuálne služby použitím služieb poskytovaných vrstvou, ktorá sa nachádza nižšie. Napríklad služba typu End-to-End (koniec-koniec) medzi jednotlivými koncovými užívateľmi s terminálovými zariadeniami (TE) bude realizovaná za využitia lokálnej TE/UE nosnej služby, UMTS nosnej služby a externej nosnej služby.



Obr. 4.1: QoS model v UMTS siet'ach [12]

Časť UMTS nosná služba sa nachádza iba na strane operátora (nie na strane účastníka) a ten pomocou nej ponúka široké spektrum služieb. UMTS nosná služba sa skladá z dvoch častí, nosnej služby rádiového prístupu a CN nosnej služby.

Nosná služba rádiového prístupu je založená na vlastnostiach rádiového rozhrania a slúži pre situácie pohybu účastníckeho zariadenia UE (respektíve mobilnej stanice MS) v rámci siete. Naproti tomu CN nosná služba má za úlohu kontrolovať efektívne využívanie chrbticovej časti siete CN.

Nosná služba rádiového prístupu je realizovaná pomocou rádiovkej nosnej služby a nosnej služby rozhrania Iu spojujúceho RNC (Radio Network Controller) a SGSN (Serving GPRS Support Node). Úloha tejto časti spočíva v pokrytí všetkých aspektov vzhľadom na prenos signálu cez rádiové rozhrania siete.

4.1 Triedy kvality služieb v sieťach UMTS

Pre garantovanie službou požadovaných parametrov boli v UMTS sieťach definované štyri triedy kvality služieb, ktoré sú rôzne citlivé najmä na oneskorenie. Toto je dôležitý parameter vzťahujúci sa hlavne na služby v reálnom čase, kde by veľké hodnoty oneskorenia znamenali výrazné zhoršenie komunikácie. Na základe týchto tried sú potom jednotlivým službám pridelené sieťové zdroje. Preto aplikácie, ktoré majú pridelenú vyššiu prioritu, a teda sa nachádzajú v lepšej triede kvality služieb, majú prednosť pri pridelení sieťových zdrojov pred službami a aplikáciami s nižšou prioritou.

Triedy kvality služieb v UMTS sieťach:

- **Konverzačná trieda** – typickým predstaviteľom tejto triedy je klasická hlasová služba medzi dvomi alebo viacerými užívateľmi siete. Táto služba prebieha v reálnom čase a z tohto dôvodu je veľmi náchylná na hodnotu oneskorenia medzi dátami odoslanými odosielateľom a prijímanými príjemcom. Tento parameter ale nie je striktno daný a záleží najmä na vnemových zmysloch účastníkov hovoru. Nemal by však prekročiť hranicu 200 ms, pri ktorej nastáva výrazné zhoršenie kvality služby [15].
- **Streamovacia trieda** – patri medzi relatívne nové vlastnosti v dátových komunikačných sieťach. Vznikla hlavne na podnet rapidného sa rozšírenia multimedialných služieb ako je napríklad sledovanie videa alebo počúvanie hudby. Charakteristická črta tejto triedy je citlivosť na zmenu jitteru, ktorý predstavuje hodnotu časovej variácie medzi informačnými entitami (napríklad paketmi). Časové vyrovnávanie je prevádzané v koncovom prijímacom bode (v účastníckom zariadení), a tak najväčšia akceptovateľná časová variácia (jitter) vzniknutá na prenosovom médiu je daná schopnosťou časovej korekcie prijímacej aplikácie.

- **Interaktívna trieda** – je zástupcom klasických dátových telekomunikačných schém, ktorých charakteristická črta je komunikácia na základe požiadaviek. Táto schéma je najčastejšie aplikovaná keď koncový užívateľ, či už sa jedná o prístroj alebo osobu, inicializuje dátovú požiadavku na vzdialené zariadenie, napríklad server. Príklad osoby, ktorá vytvára požiadavku na vzdialené zariadenie môže predstavovať služba prehľadávania internetu, kde fyzický zákazník pomocou svojho koncového zariadenia komunikuje s internetovým serverom a naopak, príklad prístroja komunikujúceho so vzdialeným zariadením predstavuje služba automatického vyšetrenia zmeny v databáze. Dôležitými atribútmi tejto triedy sú tak časové oneskorenie odpovede, transparentnosť prenosu paketov a nízka chybovosť prenosu.
- **Trieda prenosu na pozadí** – služby tejto triedy predstavujú najmä email, SMS, obnova a sťahovanie informácií zo sieťovej databázy a tiež služby merania parametrov sietí. Sú to služby, ktoré sú prevádzkované na pozadí a koncové zariadenie neočakáva dáta v presne stanovenom časovom okamihu. Táto schéma kvality služieb je tak podstatne menej citlivá na časové oneskorenie príjmu odpovede, ale tak ako aj pri interaktívnej triede, je charakteristickým znakom nutnosť transparentného prenosu s nízkou bitovou chybovosťou.

Tab. 4.1: Požiadavky jednotlivých QoS tried na parametre prenosu

QoS trieda	Oneskorenie	Jitter	Nízka chybovosť	Garantovaná bit. rýchlosť	Príklad služby
Konverzačná	Striktné	Striktné	Nie	Áno	Hlasová služba
Streamovacia	Nutné	Nutné	Nie	Áno	Audio video prenos
Interaktívna	Nízke	Nie	Áno	Nie	Internetové služby, web
Prenos na pozadí	Nie	Nie	Áno	Nie	FTP, Email

Je nutné podotknúť, že mimo štyroch tried kvality služieb, pre presnejšiu definíciu prenosu, 3GPP špecifikovala i ďalšie parametre, ktoré sú s danými triedami zviazané, a na základe ktorých je možné daný prenos lepšie charakterizovať. Tieto parametre sú zhrnuté v tabuľke 4.2. Nie všetky parametre sú pritom striktné definované pre každú triedu kvality služieb.

- **Maximálna prenosová rýchlosť** – hodnota udáva maximálnu bitovú rýchlosť v danom okamihu, pri ktorej je sieť schopná ešte garantovať prenos dát vyslaných účastníckou stanicou.
- **Poradie doručenia** – atribút nadobúda hodnoty áno/nie a určuje či je požadované zachovať poradie dátovej jednotky počas jej prenosu cez sieť.
- **Maximálna veľkosť dátovej jednotky** – udáva maximálnu veľkosť dátovej jednotky, ktorá môže byť prenesená rádiovým prostredím. Tento parameter sa často používa v spojení s kontrolou prístupu.
- **Informácie o formáte dátovej jednotky** – atribút obsahuje informácie o možných presných veľkostiach dátových jednotiek. Často využívaný parameter pre optimalizáciu využitia rádiových zdrojov v prípade, že aplikácia je schopná presne informovať o veľkostiach dátových jednotiek, ktorými komunikuje.
- **Chybovosť dátových jednotiek** – udáva pomer stratených alebo chybných dátových jednotiek služby vzhľadom na celkový prenos. Tento atribút sa používa primárne v prístupovej sieti UTRAN pre konfiguráciu protokolov, algoritmov a schém používaných na detekciu chýb.
- **Zvyšková chybovosť** – hodnota udáva nedetekovanú bitovú chybovosť v doručených dátových jednotkách služby. Používa sa pre konfiguráciu protokolov a algoritmov rádiového rozhrania a schém pre detekciu bitovej chybovosti.
- **Doručenie chybnej dátovej jednotky** – hodnota udáva či chybne prijatá dátová jednotka služby bude doručená s označením chyby alebo bude odhodená.
- **Oneskorenie prenosu** – hodnota udáva maximálne možné oneskorenie pre 95%-né rozloženie oneskorenia všetkých doručených dátových jednotiek služby počas dĺžky života nosnej služby. Atribút sa používa na špecifikáciu aplikáciou tolerovaného oneskorenia a tiež pomáha UTRAN nastaviť prenosový formát ARQ (Automatic Repeat Request) parametrov.
- **Garantovaná bitová prenosová rýchlosť** – hodnota udáva prenosovú rýchlosť, ktorá je garantovaná sieťou – garantovaný počet bitov, ktorý je prijatý prístupovým bodom v jednej časovej perióde v pomere k celkovému času jednej periódy. Atribút sa používa hlavne v prístupovej sieti UTRAN pre uľahčenie alokovania zdrojov a kontrolu prístupu.
- **Priorita spracovania prenosu** – hodnota špecifikuje relatívnu dôležitosť spracovania dátovej jednotky nosnej služby UMTS v porovnaní s dátovými jednotkami ostatných UMTS služieb.
- **Priorita alokovania/pozdržania** – parameter udáva relatívnu dôležitosť alokovania/pozdržania UMTS nosnej služby v porovnaní z ostatnými UMTS nosnými službami. V prípade nedostatku sieťových zdrojov môže byť tento atribút použitý k prioritizácii nosných služieb za pomoci kontroly prístupu.

Tab. 4.2: QoS atribúty UMTS nosnej služby [14]

Triedy kvality služieb	Konverzačná	Streamovacia	Interaktívna	Prenos na pozadí
Maximálna prenosová rýchlosť	X	X	X	X
Poradie doručenia	X	X	X	X
Maximálna veľkosť dátovej jednotky	X	X	X	X
Informácie o formáte dátovej jednotky	X	X		
Chybovosť dátových jednotiek	X	X	X	X
Zvyšková chybovosť	X	X	X	X
Doručenie chybnjej dátovej jednotky	X	X	X	X
Oneskorenie prenosu	X	X		
Garantovaná prenosová rýchlosť	X	X		
Priorita spracovania prenosu			X	
Priorita alokovania/pozdržania	X	X	X	X

4.2 QoS manažment v prístupovej sieti UTRAN

Prístupová sieť UTRAN (UMTS terrestrial radio access network) plní dôležitú úlohu z pohľadu QoS manažmentu a prístupu účastníckeho zariadenia do siete s požadovanými parametrami na prenos. QoS manažment v prístupovej sieti UTRAN je úzko spätý s RRM (Radio Resource Management) funkciami, ktoré definujú parametre, na základe ktorých je rozhodnuté, či daný účastník môže prístupit' do siete, prípadne vykonať požadovaný prenos tak, aby neovplyvnil ostatných účastníkov siete, ktorí sa v sieti už nachádzajú.

4.2.1 Kontrola prístupu (Admission Control)

Kontrola prístupu plní kľúčovú úlohu pri otázke či dané zariadenie môže prístupit' do siete alebo je jeho požiadavka zamietnutá. Pri tomto rozhodovaní sa berie zreteľ najmä na interferenčné a záťažové vplyvy, ktoré nové účastnícke zariadenie so sebou do siete prinesie a na sním spojené ovplyvňovanie účastníckych zariadení, ktoré sú už v tomto okamihu v sieti úspešne prihlásené. Práve v sieťach založených na WCDMA hrá kontrola prístupu významnú

úlohu a to najmä z dôvodu, že v týchto sieťach neexistuje pevne stanovený limit účastníkov na jednu bunku ako tomu je v sieťach GSM. Siete založené na WCDMA tak musia pomocou algoritmu kontroly prístupu využívať rozhodovacie a odhadovacie algoritmy pracujúce s hodnotami interferencie a zaťaženia. Snažia sa tak správne odhadnúť hodnoty zvýšeného zaťaženia a interferencie, ktoré vzniknú prístupom nového zariadenia do siete. V prípade že by algoritmus kontroly prístupu nepracoval správne, prípadne by ho sieť nevyužívala, mohol by ľahko nastať neželaný stav výpadku spojenia prípadne zníženie požadovaných kvalít služieb.

Algoritmus kontroly prístupu je prevádzaný v každej bunke siete separátne a to ako pre smer uplink tak i pre smer downlink. Deje sa tak počas nastavovania novej účastníckej služby, prípadne modifikovaní už stávajúcej služby. Pri nastavovaní spojenia alebo jeho modifikovaní AC (Admission Control) s QoS požiadavkami nastaví RRP parameter (Radio Request Priority) do nosnej služby na základe QoS profilu produkovaného CN. Nižšia hodnota RRP parametru pritom značí vyššiu prioritu. V prípade, že podmienka daná algoritmom bude pre obidva smery prenosu splnená, účastnícke zariadenie môže byť do siete prijaté [4].

V opačnom prípade je žiadosť účastníckeho zariadenia na prenos odmietnutá, prípadne sú účastníckemu zariadeniu ponúknuté nižšie parametre kvality služieb, napríklad nižšia prenosová rýchlosť prípadne nezabezpečená požadovaná hodnota chybovosti.

Kontrola prístupu (Admission Control) používa niekoľko algoritmov pre zabezpečenie správneho prístupu účastníckeho zariadenia do siete a prevencie proti preťaženiu siete. Najpoužívanejšie algoritmy kontroly prístupu sú:

- Kontrola prístupu na základe podmienky interferencie (Interference Based Admission Control)
- Kontrola prístupu na základe podmienky zaťaženia (Throughput Based Admission Control)
- **Kontrola prístupu na základe podmienky interferencie**
(Interference Based Admission Control)

Táto metóda sa používa pri komunikácii mobilného zariadenia v smere uplink i v smere downlink. V prípade smeru uplink, keď sa účastnícke zariadenie snaží pripojiť do siete, musí byť splnená interferenčná podmienka [4]. Tá je daná vzťahom:

$$I_{celková_pôvodná} + \Delta I < I_{medzná} \quad (4.1)$$

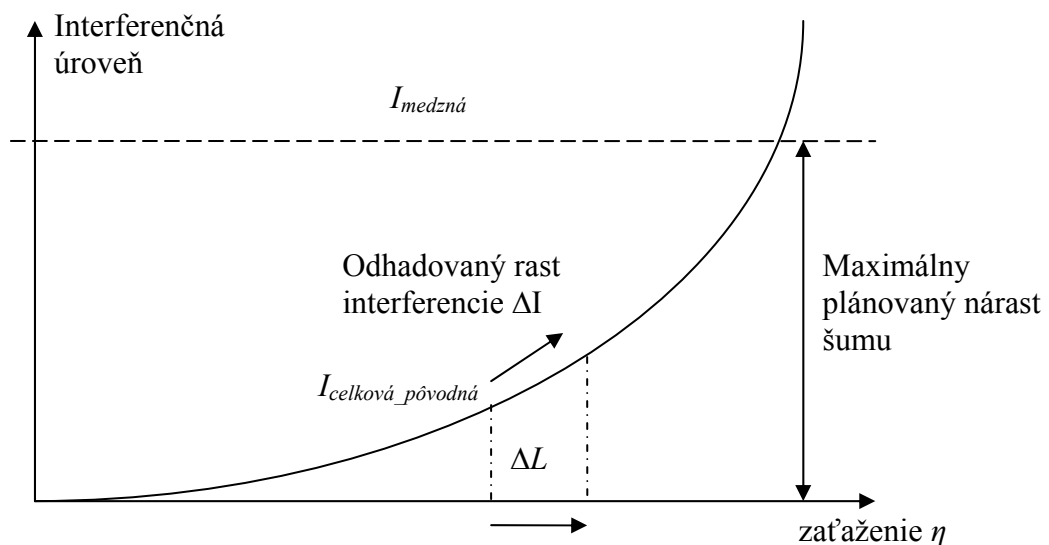
V prípade, že je splnená interferenčná podmienka uvedená v rovnici 4.1, účastnícke zariadenie žiadajúce uplink komunikáciu môže byť prijaté do siete. Rovnica 4.1 vyjadruje podmienku, keď interferencia zariadenia, ktoré prichádza do siete ΔI sčítaná s celkovou interferenciou zariadení, ktoré v sieti už komunikujú nemôže presiahnuť medznú hodnotu interferencie $I_{medzná}$. V opačnom prípade by užívatelia, ktorí sa v sieti už nachádzajú, boli novým zariadením ovplyvnení a ich komunikačné parametre by boli znížené. Tým by sa ohrozila kvalita jednotlivých služieb vyjednaných so sieťou.

Interferenčná úroveň $I_{medzná}$ v rovnici 4.1, ktorú nová celková hodnota interferencie nemôže prekročiť, korešponduje s maximálnou hodnotou šumu pri vysielaní mobilných zariadení v danej bunke a jej nastavenie spadá pod kompetencie plánovania mobilnej siete.

Kľúčový parameter v rovnici 4.1 predstavuje odhadovaná interferencia nového spojenia ΔI . Určenie tohto parametru sa prevádza dvomi metódami, ktoré berú na zreteľ zaťažovaciu krivku nového spojenia zobrazenú na obrázku 4.2 a zaťažovací faktor nového spojenia vyjadrený rovnicou 4.2.

$$\Delta L = \frac{1}{1 + \frac{W}{v \cdot E_b/N_0 \cdot R}} \quad (4.2)$$

- W → čipová rýchlosť (v sieťach WCDMA 3,84 Mc/s)
- R → prenosová rýchlosť nového spojenia
- E_b/N_0 → pomer energie k spektrálnej šumovej hodnote nového spojenia
- v → predpokladaná hlasová aktivita nového spojenia



Obr. 4.2: Zaťažovacia krivka nového spojenia [4]

Interferenčnú zmenu v uplink smere vyjadrenú parametrom ΔI určuje rovnica 4.3. Tá vychádza z derivácie pôvodnej hodnoty interferenčného výkonu v uplink smere prenosu s ohľadom na pôvodný zaťažovací faktor η a zaťažovací faktor nového spojenia ΔL vyjadrený v rovnici 4.2 [4].

Táto metóda odhadu zmeny interferenčnej úrovne sa radí medzi metódy derivačné [4].

$$\frac{\Delta I}{\Delta L} = \frac{dI_{celková}}{d\eta} \Rightarrow \Delta I = \frac{dI_{celková}}{d\eta} \cdot \Delta L \Rightarrow \Delta I = \frac{P_N}{(1-\eta)^2} \cdot \Delta L \Rightarrow \Delta I = \frac{I_{celková}}{1-\eta} \cdot \Delta L \quad (4.3)$$

Druhý spôsob ako určiť zmenu interferenčnej úrovne v uplink smere prenosu vyjadruje metóda integračná 4.4 [4]. V tejto metóde integrovaniu podlieha pôvodná hodnota interferencie v integračnom rozsahu určenom hodnotami pôvodného celkového zaťažovacieho faktora a nového celkového zaťažovacieho faktora, to znamená s rešpektovaním zaťaženia nového účastníckeho zariadenia v sieti ΔL .

$$\Delta I = \int_{I_{celková_pôvodná}}^{I_{celková_pôvodná} + \Delta I} dI_{Total} \Rightarrow \Delta I = \int_{\eta}^{\eta + \Delta L} \frac{P_N}{(1-\eta)^2} d\eta \Rightarrow \Delta I = \frac{P_N}{1-\eta-\Delta L} - \frac{P_N}{1-\eta} \Rightarrow \Delta I = \frac{\Delta L}{1-\eta-\Delta L} \cdot \frac{P_N}{1-\eta}$$

$$\Delta I = \frac{I_{celková}}{1-\eta-\Delta L} \cdot \Delta L \quad (4.4)$$

V prípade smeru prenosu downlink je kontrola prístupu založená na identickom princípe ako v smere prenosu uplink. V prípade downlinku ale kalkulácia prebieha s parametrom výkonu. Účastnícke zariadenie je tak prijaté do siete a je mu povolená komunikácia v prípade, že celkový výkon systému po prijatí zariadenia do siete nepresiahne hodnotu výkonu stanovenú pri plánovaní siete. Tá je definovaná na hodnotu, pri ktorej je možné garantovať požadované QoS bez vonkajších vplyvov na prenos.

$$P_{celkový_pôvodný} + \Delta P_{celkový} < P_{medzný} \quad (4.5)$$

Hodnota $\Delta P_{celkový}$ vyjadruje hodnotu výkonu účastníckeho zariadenia žiadajúceho prístup do mobilnej siete ale taktiež zvýšený výkon ostatných mobilných staníc plynúci s nutnosti výkonovej reakcie účastníckych zariadení nachádzajúcich sa v sieti na prístup nového zariadenia do siete [4]. Parameter $\Delta P_{celkový}$ je možné určiť na základe poznania požiadaviek daného účastníckeho zariadenia na E_b/N_0 , požadovanej prenosovej rýchlosti a pilotnej správy vyslanej účastníckym zariadením. Pilotná správa implicitne obsahuje údaje o stratách prenosu ako aj o interferenčnej úrovni.

- **Kontrola prístupu na základe podmienky zaťaženia**
(Throughput Based Admission Control)

Hlavný parameter tejto metódy kontroly prístupu predstavuje zaťažovací faktor v smere uplink η_{UL} a zaťažovací faktor v smere downlink η_{DL} . Požiadavka nového účastníckeho zariadenia o prístup do siete je tak vyhodnotená kladne v prípade, že obidve nasledujúce podmienky sú splnené:

$$\eta_{UL} + \Delta L < \eta_{UL_medzná} \quad (4.6)$$

$$\eta_{DL} + \Delta L < \eta_{DL_medzná}$$

- **Priebeh CAC (Call Admission Control)**

Tak ako už bolo spomenuté v stati 4.2.1, úlohou CAC je rozhodnúť či žiadajúce účastnícke zariadenie môže byť prijaté do siete alebo bude jeho požiadavka zamietnutá. Spojenie je uskutočnené pokiaľ je v sieti dostatočná voľná kapacita zdrojov a nové zariadenie nebude mať negatívny vplyv na QoS parametre zariadení nachádzajúcich sa v sieti. CAC je prevádzaný na každom uzle siete, ktorým prechádza komunikácia zo zdroja až k príjemcovi [9].

V QoS architektúre podľa obrázku 4.1 sa na UMTS nosnej službe podieľa RNC, SGSN a GGSN. V rámci UMTS nosnej služby SGSN pracuje ako koordinátor CAC algoritmu. Pred aktiváciou dátového spojenia, účastnícke zariadenie pošle svoje QoS požiadavky do SGSN, ku ktorému je momentálne pripojené. SGSN realizuje CAC algoritmus na základe prijatých QoS požiadaviek a politiky zvolenej pre daného účastníka. V prípade, že tieto podmienky sú splnené, SGSN pošle vyjednané QoS parametre ako súčasť spojovacej požiadavky do GGSN. Tento uzol aplikuje lokálnu funkciu PDP (Policy Decision Point) k modifikovaniu vyjednaných QoS parametrov na základe sieťového zaťaženia a prídavných informácií o sieti a prepošle parametre QoS nastavenia späť do uzlu SGSN. Po prijíme vyjednaných QoS parametrov SGSN prevedie tieto parametre na ekvivalentné rádiové QoS parametre a tieto pošle ako požiadavku na alokovanie rádiových zdrojov do ďalšieho prvku v sieti, ktorý tvorí RNC. Ako odpoveď na túto požiadavku RNC prevedie CAC algoritmus vzťahujúci sa na rádiové zdroje založený na momentálnom zaťažení bunky, do ktorej sa mobilná stanica hlási. Po úspešnom alokovaní rádiových zdrojov rádiovou nosnou službou (obr. 4.1), SGSN informuje mobilnú stanicu, že spojovací kontext je zostavený a taktiež ju informuje o vyjednaných QoS parametroch. Na základe týchto informácií sa mobilná stanica môže rozhodnúť, či dané zdroje bude využívať alebo od vyjednaných podmienok odstúpi.

4.2.2 Kontrola zat'azenia (Load Control)

Zatiaľ čo kontrola prístupu (Admission Control) pracuje ako prevencia proti preťaženiu siete a rozhoduje či dané zariadenie môže pristúpiť do siete alebo je jeho požiadavka na komunikáciu zamietnutá, kontrola zaťaženia má za úlohu prípadné vzniknuté preťaženie odstrániť. Preťaženie by však za predpokladu správneho fungovania kontroly prístupu a plánovania paketov nemalo nastať.

Za predpokladu, že preťaženie predsa len nastane, kontrola zaťaženia môže vykonať niektorý z krokov pre jeho odstránenie. Tým môže byť napríklad i zníženie vyjednaných QoS parametrov (nižšia bitová rýchlosť, vyššia chybovosť) pre spojenia a účastníkov s nižšou prioritou za účelom ochrany kvality spojení pre účastníkov s vyššou prioritou, prípadne použije iné mechanizmy, o ktorých je pojednávané v [2].

4.2.3 Kontrola výkonu (Power Control)

Kontrola výkonu patrí k dôležitým častiam rádiového manažmentu s výrazným vplyvom na QoS. Kontrola výkonu má za úlohu správne nastavovať výkon mobilnej stanice bez ohľadu na to, v ktorej časti bunky sa nachádza, tak aby svojim výkonovým vyžarovaním nezatičila ostatné mobilné stanice v bunke. To by mohlo mať samozrejme za následok ovplyvnenie QoS parametrov už existujúcich spojení. Pre zabezpečenie správneho výkonového nastavenia sa v sieťach UMTS používajú najmä mechanizmy Open Loop Power Control, Fast Closed Loop Power Control a Outer Loop Power Control, ktoré sú podrobne prebrané v [2].

4.3 Mechanizmy riadenia QoS v chrbticovej časti siete

V prípade požiadavky mobilného terminálu na službu vo zvolenej QoS triede je nutné aby mobilná sieť bola schopná dané požiadavky vyhodnotiť správne a zaradiť účastnícku službu do správnej QoS triedy. Pre tento účel sa používa niekoľko mechanizmov a algoritmov priamo vnútri mobilnej siete. Keďže daná komunikácia medzi dvomi užívateľmi prebieha cez uzle siete, preto aj tieto uzly siete musia podliehať istým pravidlám na QoS požiadavky a musia s danou informáciou zaobchádzať podľa jej priority.

Jedna z najdôležitejších metód pre správne zaobchádzanie s paketmi je ich značkovanie. Táto metóda však nie je jediná a sama o sebe netvorí konečné riešenie. Tým je často až súbor niekoľkých mechanizmov použitých súčasne.

4.3.1 Klasifikácia paketov

Klasifikácia paketov hrá významnú úlohu pri určovaní QoS triedy prislúchajúcej k dátovej jednotke na základe jej požiadaviek na QoS. Najčastejšia realizácia značkovania je uskutočnená pomocou hodnoty poľa v datagramovej hlavičke. Častým príkladom značkovania je tiež IP adresou zdroja paketu. Pri prenose informácie tak do jednotlivých uzlov vstupujú pakety, ktoré sú už označené od predchádzajúceho uzla alebo ešte nie sú označené. V uzloch siete môže ale nastať i preznačenie paketov a to najmä v prípade, ak daný paket vybočuje z dohodnutých pravidiel na požadovanú kvalitu prenosu alebo v prípade, keď paket prechádza do externej siete založenej na inej technológii.

4.3.2 Plánovanie paketov

Mechanizmus plánovania paketov špecifikuje politiku fronty vzhľadom na služby vnútri uzlov siete. V praxi to znamená, že plánovanie paketov definuje poradie v akom sa budú jednotlivé pakety z fronty vyberať a teda i posielat' cez prenosový kanál.

- **FIFO fronta**

Najjednoduchší spôsob odosielania paketov predstavuje systém typu FIFO (first in, first out), pri ktorom sú pakety vyberané z fronty presne v poradí v akom do fronty vstúpili. Pri systéme FIFO tak nie je nutné implementovať dodatočný algoritmus riadenia výberu paketov na základe ich prioritizácie. Výhodou systému FIFO sa tak stáva najmä jeho jednoduchosť. Nevýhodou je naopak prakticky nulová možnosť uprednostňovať pakety s vyššou prioritou. Mechanizmus typu FIFO sa vzhľadom na svoje vlastnosti hodí hlavne pre prenos typu „Best Effort“, v ktorom sú si jednotlivé služby rovnocenné.

- **PQ – Priority queuing**

Vyspelejší spôsob riadenia fronty predstavuje systém PQ (prioritné frontovanie). Oproti FIFO systému sa vyznačuje zavedením niekoľkých front nesúcich priority 1 až N. Na základe klasifikátora sú potom pakety prichádzajúce na vstupný port radené do príslušnej prioritnej fronty. Pri ich výbere z jednotlivých front a radení na výstupný port sa uplatňuje algoritmus výberu založený na vyššej prioritě. Pakety z fronty označenej nižšou prioritou sa tak dostanú na výstupný port len v prípade, keď fronty s vyššou prioritou sú prázdne. To je značná nevýhoda tohto mechanizmu, pretože v prípade častého príchodu paketov s vyššou prioritou sa pakety služieb s prioritou nižšou prakticky nikdy nedostanú na výstupný port a ich fronty budú permanentne preplnené. Tento systém sa preto používa v prípadoch prenosu služieb nižšej priority, v ktorom percentuálne množstvo paketov z vyššou prioritou tvorí v celkovom

dátovom toku výrazne minoritnú časť. Popísaný problém rieši modifikovaná verzia PQ mechanizmu frontovania, v ktorom prenos s vyššou prioritou dostane prednosť pred prenosom s nižšou prioritou len v prípade, ak nepresiahne určitú hranicu zaplnenia svojej fronty.

- **FQ – Fair queuing**

Ďalší často používaný systém výberu paketov tvorí systém takzvaného férového výberu. Princíp tohto systému spočíva v zoradení klasifikovaných paketov jednotlivých prenosov do niekoľkých front N , ktorým je na výstupnom porte priradená šírka pásma závislá na počte vytvorených vstupných front ($1/N$). Každá vstupná fronta tak môže disponovať svojim výstupným pásmom, do ktorého na základe algoritmu priechodu vstupných front posielajú jeden paket dátového prenosu. V prípade pridania ďalšej fronty na vstup (počet front bude $N+1$) tak dochádza k prepočtu pásma pre jednotlivé fronty i na výstupnom porte. Jednoduchá implementácia a nenáročnosť tvorí hlavnú výhodu tohto mechanizmu. Nevýhodou je fakt, že pásmo na výstupnom porte je pridelované jednotlivým vstupným dátovým tokom rovnocenne bez ohľadu na požadované pásmo danej aplikácie. Ďalšou nevýhodou je tiež možnosť zasahovania jednotlivých prenosov do susedných pásiem na výstupnom porte v prípade, že paket na vstupe je väčší ako jemu pridelené pásmo na výstupe. V takomto prípade zaberie miesto na výstupnom porte i pre paket nachádzajúci sa v odlišnej vstupnej fronte [11]. Riešením tohto problému je tak pridelovanie výstupného pásma daným vstupným dátovým tokom na základe veľkosti paketov prenášaných služieb.

- **WRR – Weighted Round Robin**

WRR predstavuje spôsob výberu paketov na výstupný port s rešpektovaním ich požiadaviek na šírku pásma. Vylepšuje tak hlavnú nevýhodu systému FQ, v ktorom je výstupné pásmo rozdelené úmerne počtu front na vstupe. Pri systéme WRR je vstupný dátový tok rozdelený do niekoľkých tried m , ktorým je na základe ich váhy pridelené pásmo výstupného portu. Váhy jednotlivých tried m sú určené na základe časovej náročnosti zdržania sa výberového algoritmu v jednej triede, keďže výber paketu s požiadavkou na vyššiu šírku pásma zaberie dlhší časový interval. Súčet všetkých váh tried m však musí nadobúdať hodnotu 100%.

V jednotlivých váhovaných triedach je dátový tok radený na základe systému typu FQ. Celkový systém WRR tak využíva dvojitý priebeh výberového algoritmu, keď pri prvom cykle je vybraná váhovaná trieda z celkového počtu m tried a pri druhom cykle je vybraná fronta v rámci danej váhovanej triedy [11].

- **WFQ – Weighted Fair Queuing**

System výberu paketov typu WFQ eliminuje na rozdiel od systému WRR i druhú nevýhodu metódy FQ, ktorou je neprispôsobenie šírky pásiem na výstupe podľa požiadaviek vstupného prenosu. Princíp mechanizmu spočíva tak ako pri mechanizme FQ v zaraďovaní vstupného dátového toku do front, ktoré sú ale na rozdiel od systému FQ váhované. Jednotlivým frontám sa tak určí šírka možného využívaného pásma na výstupnom porte.

- **CB – WFQ – Class Based Weighted Fair Queuing**

Mechanizmus CB – WFQ kombinuje systém typu WRR so systémom typu WFQ. Na vstupe je tak dátový tok radený do m tried, ktorým je priradená zodpovedajúca váha, na základe ktorej môžu využívať pridelenú šírku pásma na výstupnom porte. V jednotlivých váhových triedach ale dátový tok nie je radený na základe mechanizmu FQ ako tomu je v systéme typu WRR ale na základe mechanizmu WFQ [11].

4.3.3 Správa front

Mechanizmy plánovania paketov sú často spájané aj s mechanizmami správy front. Mechanizmy správy front majú ale za úlohu držať dohľad nad správnym fungovaním fronty a vyrovnávajúcej pamäte, chrániť ju pred jej zaplnením a tiež detekovať blížiace sa zaplnenie.

- **RED (Random Early Detection)**

Metóda, ktorá sa snaží včas detekovať možný stav preplnenia fronty a v prípade, že hrozba preplnenia sa stáva aktuálnou, začne náhodne zahadzovať pakety z fronty [11]. Skladá sa z algoritmu detekcie zaplnenia fronty pracujúceho na princípe sledovania dĺžky fronty a kapacity sledovania vyrovnávajúcej pamäte a z bloku určeného pre zahadzovanie paketov iba na základe určitej pravdepodobnosti.

- **WRED (Weighted Random Early Detection)**

Rozšírenie metódy RED o možnosť zahadzovania paketov na základe istých pravidiel. V prípade blížiaceho sa preplnenia fronty je tak možné na základe definovaných profilov určiť, ktoré pakety sa majú zahadzovať skôr [11].

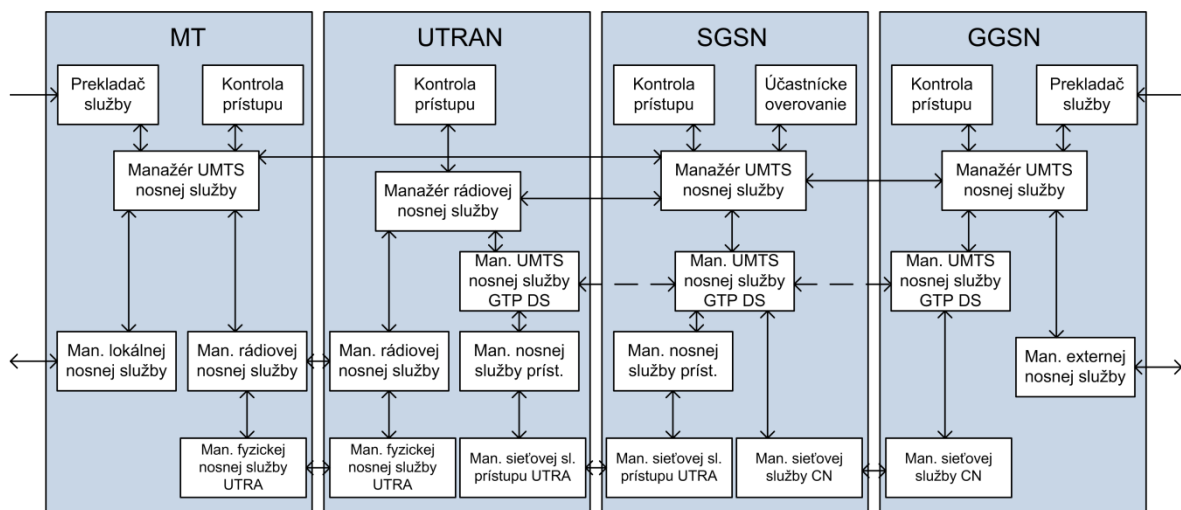
4.4 Funkcie QoS manažmentu

4.4.1 Kontrolný plán UMTS QoS manažmentu

Funkcie v kontrolnom pláne QoS manažmentu podporujú nastavenie a modifikovanie UMTS nosnej služby (vid'. obr. 4.1) a to pomocou signalizácie a vyjednávania s externými službami ale tiež pomocou nastavenia a modifikácie všetkých vnútorných UMTS služieb s požadovanými charakteristikami. Funkcie kvality služieb kontrolného plánu sú tak úzko späté s manažmentom UMTS nosnej služby, zároveň ale neslúžia pre nastavenie signalizačného plánu kvality služieb.

Manažérske funkcie kontrolného plánu sa zúčastňujú na nastavení a obsluhu požadovanej UMTS nosnej služby počas priebehu spojenia. QoS funkcie kontrolného plánu prevádzajú externé požiadavky na kvalitu služieb na formu zrozumiteľnú sieti UMTS ale taktiež udržujú stav rezervovaných a voľných sieťových zdrojov v rôznych častiach mobilnej siete [6].

Na obrázku 4.3 je znázornený model kontrolného plánu QoS manažmentu. V blokoch mobilného terminálu a uzle GGSN sa nachádza prekladač. Jeho funkciou je preklad parametrov medzi externými službami prichádzajúcimi do UMTS siete a internými službami pracujúcimi pod UMTS sieťou.



Obr. 4.3: Kontrolný plán funkcií pre zaistenie kvality služieb [6]

V mobilnom termináli a blokoch SGSN a GGSN sa taktiež nachádzajú manažéri UMTS nosnej služby slúžiacej na vzájomnú výmenu signalizácie s externými instanciami za účelom zriadenia a modifikovania nosnej služby UMTS technológie. Každý z týchto manažerov načúva jemu pridruženým prístupovým kontrolným funkciám. Vie tak vyhodnotiť či je daná

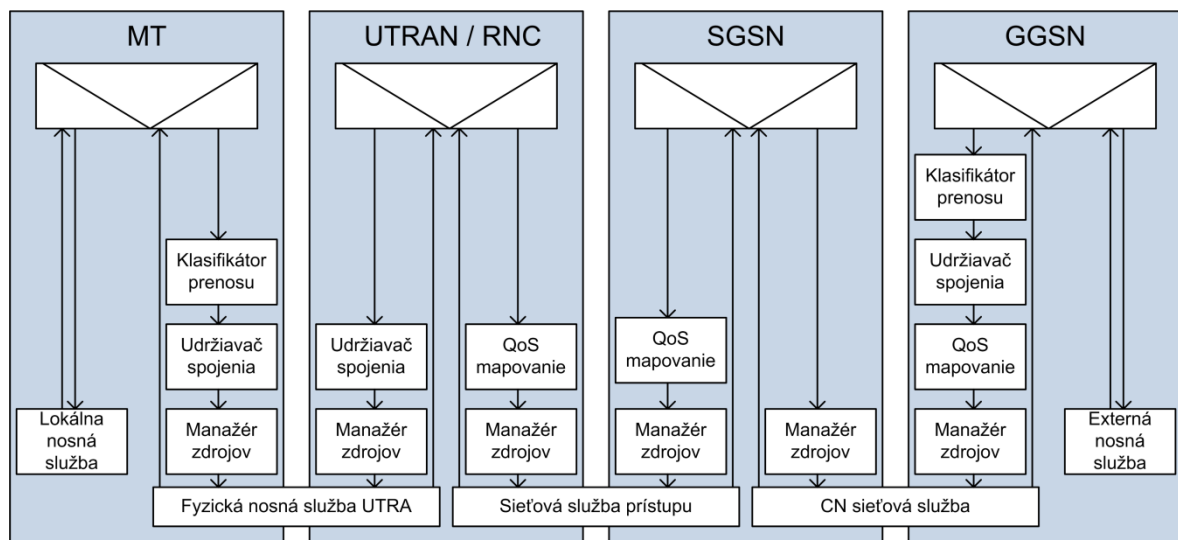
sieťová entita schopná podporovať požadovanú službu a taktiež či je možné danú službu prijať z ohľadom na voľné sieťové zdroje. Manažéri UMTS nosnej služby ale neslúžia len na výmenu signalizačných informácií. Taktiež komunikujú s UMTS službami nachádzajúcimi sa na nižších vrstvách modelu. Zabezpečujú tak preklad QoS parametrov medzi nosnou UMTS službou a nižšími nosnými službami.

4.4.2 Užívateľský plán UMTS QoS manažmentu

Užívateľský plán UMTS technológie (obr. 4.4) zahŕňa funkcie týkajúce sa aktuálneho dátového prenosu. Rozdelenie funkcií zaručuje, že užívateľská dátová jednotka prijatá účastníkom siete z externej prípadne lokálnej nosnej služby bude na základe svojich QoS požiadaviek smerovaná do príslušnej UMTS nosnej služby.

Hlavnou úlohou klasifikátora je štúdium všetkých prichádzajúcich paketov a taktiež či hlavička jednotlivých paketov obsahuje vopred stanovené podmienky. Ak sú tieto podmienky splnené paket je odoslaný do jemu korešpondujúceho PDP kontextu. Udržiavač spojenia má za účel prispôbenie (správu a tvarovanie) užívateľského dátového toku s QoS parametrami danej UMTS nosnej služby.

Manažér zdrojov má za úlohu prerozdeľovanie zdrojov medzi všetky nosné služby, ktoré požadujú prenos dátových jednotiek. V podstate poskytuje funkciu bežne známu ako frontovanie/plánovanie. Manažér zdrojov kontroluje voľné zdroje v rámci susedného rozhrania [6]. V prípade existencie voľných sieťových zdrojov bude paketom umožnený presun cez dané sieťové rozhranie do ďalšieho sieťového prvku nachádzajúceho sa na prenosovej trase.



Obr. 4.4: Užívateľský plán funkcií pre zaistenie kvality služieb [6]

5 ATM v UMTS síti

3GPP ako zastrešujúca organizácia vývoja UMTS vo svojich špecifikáciách neuvádza sieťovú technológiu použitú pre chrbticovú časť siete. Mobilní operátori tak majú v tejto otázke do istej miery voľnosť výberu a môžu technológiu voliť podľa svojich technických záujmov a taktiež podľa požiadaviek na kvalitu služieb. V praxi tak majú mobilní operátori na výber či si zvolia pre chrbticovú časť siete technológiu ATM alebo IP, prípadne IP/MPLS alebo klasické TDM.

V súčasnej dobe je najviac presadzovanou technológiou IP a taktiež ATM technológia, ktorá predstavuje veľmi dobrú alternatívu vzhľadom na interkonektivitu účastníkov do CS domény i PS domény siete. Ďalšia výhoda ATM technológie je jej nezávislosť na prenosovom médiu. V súčasnosti sa najčastejšie využívajú spoje založené na SDH, E1/T1. Použitím ATM technológie v chrbticovej časti siete tak operátor získava flexibilitu v ďalšom rozširovaní a vzájomnej kompatibilitate.

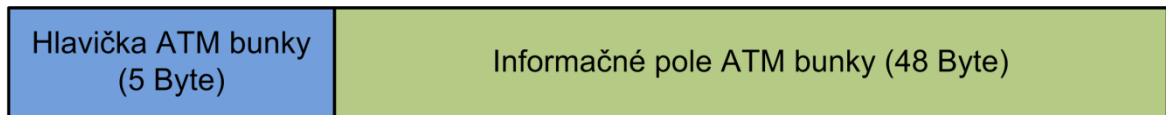
Zaistenie kvality služieb v sieťach IP zabezpečujú QoS modely DiffServ a IntServ. IntServ model je založený na rezervácii zdrojov a poskytuje tak garantovanú šírku pásma. DiffServ model je založený na klasifikácii jednotlivých paketov značkami, na základe ktorých sa sieť k daným paketom správa a zachádza s nimi.

V ATM technológii je kvalita služieb (QoS) realizovaná pomocou jednotlivých tried služieb, ktorými sú ABR, UBR, CBR, VBR-NRT a VBR-RT (viď. 5.2).

5.1 ATM – asynchronous transfer mode

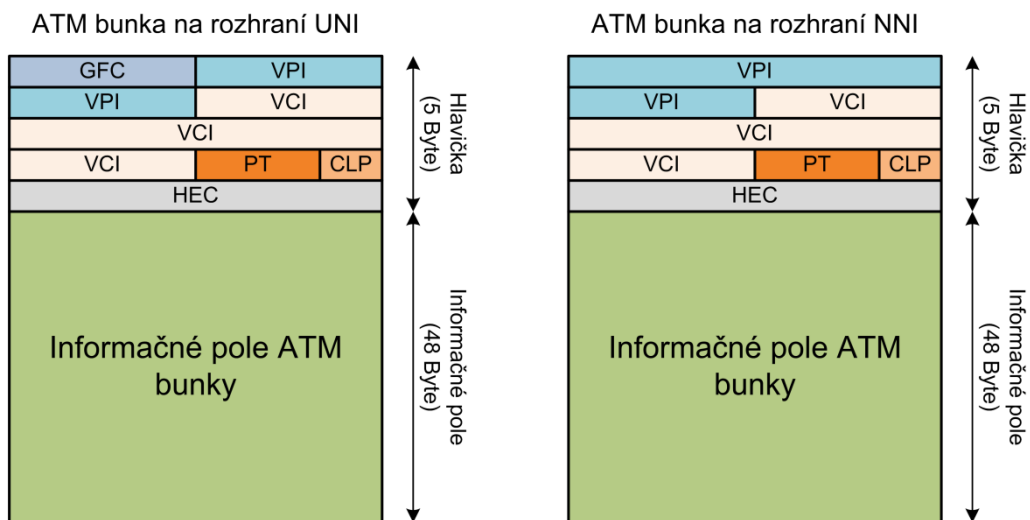
Základná myšlienka ATM technológie je rozdelenie informačného toku dát na presne stanovené úseky, ku ktorým sa pridá adresa a prenesú sa cez sieť. Tieto presne stanovené úseky sa nazývajú ATM bunky. Vďaka tomu, že každá ATM bunka disponuje presne stanovenou pevnou veľkosťou, sieťové prvky môžu pracovať synchronne. Už v predstihu totiž vedia, koľko pamäte bude daná bunka v sieťovom prvku požadovať, aké budú časové potreby na jej prijatie a odoslanie a tiež jej požiadavky na ostatné parametre sieťového prvku. Na obrázku 5.1 je znázornená štruktúra ATM bunky.

ATM bunka sa skladá z hlavičky, ktorá zaberá 5 Byte a informačného poľa o dĺžke 48 Byte. V informačnom poli sú prenášané užívateľské dáta, zatiaľ čo hlavička ATM bunky slúži na prenos riadiacich informácií a značiek, na základe ktorých sa identifikujú ATM bunky patriace k danému ATM spojeniu.



Obr. 5.1: Štruktúra ATM bunky

V súčasnej dobe ATM siete disponujú technologickou vyspelosťou dovoľujúcou odstránenie potreby prevádzať kontrolný súčet nad informačným polom. Ochranu pred chybami v informačnom poli prevádzajú samotné užívateľské terminály. Kontrolnému súčtu tak podlieha len hlavička ATM bunky. Parametre, ktoré obsahuje ATM bunka sú zobrazené na obrázku 5.2. Hlavička ATM bunky sa odlišuje v závislosti na sieťovom rozhraní. UNI predstavuje rozhranie medzi užívateľským terminálom a prvým ATM uzlom a NNI predstavuje rozhranie medzi jednotlivými ATM sieťovými uzlami.



Obr. 5.2: Štruktúra ATM bunky na rozhraní UNI a rozhraní NNI

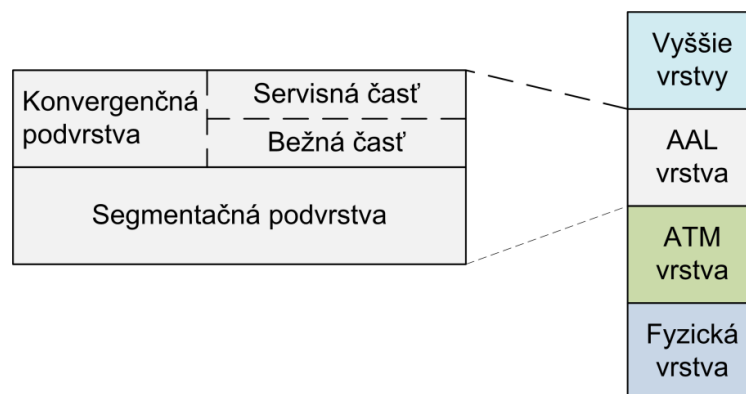
Hlavička obsahuje tieto parametre:

- **VPI** (Virtual Path Identifier – Identifikátor Virtuálnej Cesty) – parameter označujúci virtuálnu cestu medzi dvomi susednými prvkami siete
- **GFC** (Generic Flow Control – Kontrola toku dát) – parameter zabezpečujúci riadenie toku dát

- **VCI** (Virtual Chanel Identifier – Identifikátor Virtuálneho Kanálu) – parameter označujúci virtuálny kanál spojenia, ktorý môže združovať viac VPI
- **PT** (Payload Type – Typ Informačného pola) – parameter udávajúci typ dát prenášaných v informačnom poli ATM bunky. 48 Byte informačného poľa môže obsahovať užívateľské dáta alebo dáta kontrolného charakteru
- **CLP** (Cell Loss Priority – Priorita Odhodenia Bunky) – parameter udávajúci hodnotu priority, určujúcu správanie sa sieťového prvku k danej ATM bunke. Bunky s nízkou prioritou tak budú v prípade preťaženia sieťového prvku zahadzované ako prvé
- **HEC** (Header Error Control – Kontrola Chybovosti Hlavičky) – parameter, na základe ktorého, sieť vyhodnotí či došlo v hlavičke ATM bunky k chybe alebo nie.

5.2 ATM adaptačné vrstvy

V sieti UMTS je pre koncových užívateľov k dispozícii veľké množstvo služieb, a tak pri použití ATM technológie v chrbticovej časti UMTS siete je nutné tieto služby adaptovať na ATM technológiu. Pre tento účel sa v referenčnom modeli ATM nachádzajú takzvané adaptačné vrstvy, ktoré predstavujú rozhranie medzi rôznymi službami (hlasové služby, video služby, dátový prenos) a samotnou ATM sieťou. AAL vrstva je umiestnená nad fyzickou vrstvou a ATM vrstvou referenčného modelu. Je rozdelená na dvojicu podvrstiev, konvergenčnú podvrstvu a segmentačnú podvrstvu (obr. 5.3).



Obr. 5.3: Podvrstvy adaptačnej vrstvy AAL

Konvergenčná podvrstva predstavuje rozhranie k danej aplikácii pre jednotlivé AAL vrstvy. Táto konvergenčná podvrstva prijíma dáta od aplikácií a rozdeľuje ich do jednotiek určených pre ďalší prenos. Rozsah jednotky môže byť od 44 do 48 Byte informačného poľa vzhľadom

na to, že v závislosti od použitého AAL protokolu môže byť do konvergenčnej podvrstvy pridaná vlastná hlavička protokolu [1]. V opačnom procese, teda pri prijímaní buniek konvergenčnou vrstvou z vrstvy segmentačnej je úlohou konvergenčnej vrstvy tieto bunky prijať a následne zrekonštruovať ich do pôvodného dátového toku pre danú aplikáciu. Úlohou segmentačnej vrstvy je prijímať/predávať bunky pre prenos do ATM vrstvy. V závislosti na protokole i segmentačná vrstva môže pridávať k bunkám svoju vlastnú hlavičku.

V referenčnom modeli ATM sa nachádzajú štyri AAL vrstvy (AAL1, AAL2, AAL3/4 a AAL5), ktoré sú určené pre rôzne druhy služieb s odlišnými parametrami. V UMTS sieťach s použitím ATM technológie našli uplatnenie vrstvy AAL2 a AAL5. Pomocou vrstvy AAL2 sa spracúvajú krátke dátové úseky s premenlivými prenosovými rýchlosťami a malými oneskoreniami. Vrstva AAL2 tak slúži najmä na prenos hlasovej a video služby. Okrem tohto prenosu sa vrstva AAL2 používa i pre prenášanie synchronizačných informácií medzi prijímačom a vysielačom. Adaptačná vrstva AAL5 sa v UMTS technológii s ATM používa hlavne na prenos signalizačných informácií a prenos objemnejších dátových jednotiek, pri ktorých nie sú požadované striktné pravidlá na oneskorenie a jitter.

Pri použití technológie ATM v UMTS sieťach je taktiež z pohľadu správneho fungovania QoS nutné zabezpečiť vhodné mapovanie dohodnutých QoS do jednotlivých ATM tried kvality služieb. Vzhľadom na vlastnosti a požiadavky služieb sa tieto služby zaraďujú do jednotlivých tried (tab. 5.1).

ATM definuje nasledujúce triedy služieb:

- ABR (Available Bit Rate) – trieda predstavujúca služby s dostupnou prenosovou rýchlosťou.
- UBR (Unspecified Bit Rate) – trieda služieb, ktoré nemajú špecifické požiadavky na prenosovú rýchlosť ani na QoS parametre. Zastrešuje služby spadajúce do triedy služieb na pozadí v QoS modeli.
- CBR (Constant Bit Rate) – trieda služieb s konštantnou prenosovou rýchlosťou. Je určená najmä pre služby požadujúce konštantnú šírku pásma počas celej doby dátového prenosu. Takýmito službami sú najmä videokonferencia a prenos hlasovej komunikácie
- VBR-NRT (Variable Bit Rate – Non Real Time) – trieda služieb pracujúca s premenlivou prenosovou rýchlosťou určená pre služby, ktoré nevyžadujú spracovávanie dát v reálnom čase.

- VBR-RT (Variable Bit Rate – Real Time) - trieda služieb pracujúca s premenlivou prenosovou rýchlosťou určená pre služby v reálnom čase.

Tab. 5.1: Služby pripadajúce do jednotlivých ATM tried

Trieda ATM služieb	Charakteristické aplikácie	Charakteristické QoS požiadavky
ABR	Prepojovanie sietí	Nízka stratovosť
UBR	Best-Effort prenos	Bez požiadaviek
CBR	Hlas a video služby	Nízka stratovosť, nízky jitter
VBR-NRT	Paketový prenos	Akceptovateľná stratovosť
VBR-RT	Komprimované video	Nízka stratovosť, nižší jitter

6 Simulovanie mobilných sietí v prostredí Opnet Modeler

V dnešnej dobe tretieho tisícročia sa mobilná komunikácia už celkom integrovala do každodenného života. Dopyt po mobilných službách je čoraz väčší a v porovnaní s minulými rokmi môžeme pozorovať až niekoľkonásobný nárast. Do popredia sa ale popri prvotnej myšlienke mobilných sietí, klasickej telefónnej službe, čoraz viac dostávajú i služby požadujúce podstatne väčšiu šírku pásma, a teda i väčší dátový tok. Takýmito službami je napríklad videokonferencia alebo streamovanie internetového obsahu. Klasické mobilné siete však neboli na tieto požiadavky zákazníkov dostatočne pripravené a masové využívanie týchto služieb sa začalo až s príchodom sietí tretej generácie.

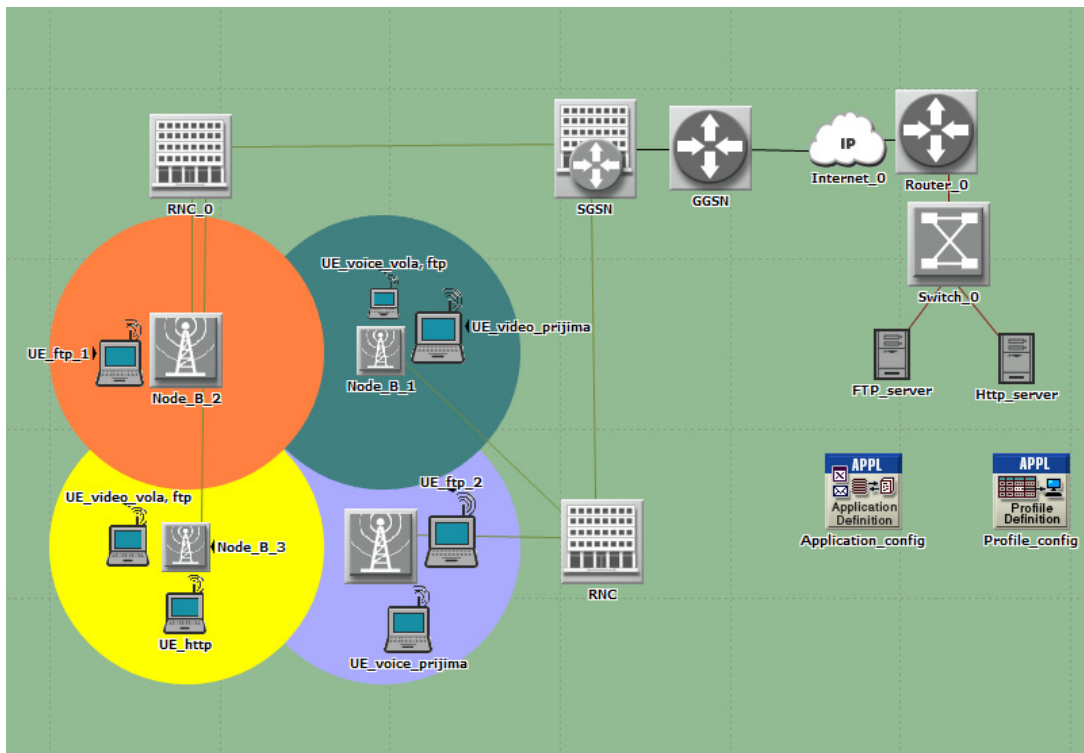
Vývoj a výstavba nových mobilných sietí so sebou ale nesie i riziko investície nemalých finančných prostriedkov, a tak pred spustením siete do skutočnej prevádzky je z hľadiska optimalizácie a testovania vhodné realizovať ich verný model v simulačnom prostredí. Model siete tak bude odzrkadľovať jej skutočné správanie sa v prevádzke s možnosťou nasimulovania rôznych hraničných stavov a reálnych situácií. Správnym funkčným modelom siete je tak možné predvídať a v konečnom dôsledku sa aj vyhnúť neželaným stavom ako je napríklad preťaženie siete prípadne výpadok niektorého z uzlov siete.

Ako simulačný nástroj pre návrh, modelovanie a testovanie telekomunikačných sietí je možné použiť program Opnet Modeler, ktorý ponúka možnosti širokého využitia nielen v oblasti mobilných komunikácií ale taktiež v oblasti pevných dátových sietí. Alternatívu tvorí simulačný program CommWyse IMNS 3000 vytvorený na základoch Opnetu.

V nasledujúcej časti sa tak budem venovať praktickému využitiu programu Opnet Modeler so zameraním sa na tvorbu a testovanie mobilnej siete tretej generácie UMTS.

6.1 Model UMTS siete s implementáciou QoS parametrov

Vytvorený model UMTS siete bol realizovaný na základe teoretických poznatkov týkajúcich sa sietí tretej generácie. Model o veľkosti 4 buniek (obr. 6.1) pozostáva z niekoľkých funkčných blokov UMTS siete, ktorými sú: užívateľské zariadenie UE, základové stanice UMTS technológie Node B, uzly RNC, podporný bod GPRS technológie SGSN, brána k externým sieťam GGSN, FTP server ako aj HTTP server, prepínač (switch) a smerovač (router). Pre definovanie jednotlivých aplikácií prevádzkovaných sieťou a využívaných jednotlivými účastníckymi zariadeniami je použitý blok „Application Definition“. Blok „Profile Definition“ slúži k nastaveniu jednotlivých profilov a časových parametrov spúšťania jednotlivých aplikácií.



Obr. 6.1: Model UMTS siete

Základové stanice Node_B sú s uzlom RNC spojené duplexnou linkou ATM_OC3, ktorá poskytuje šírku pásma 155 Mbit/s, uzol RNC a uzol SGSN sú spojené pomocou duplexnej linky ATM_adv taktiež so šírkou pásma 155 Mbit/s. SGSN a GGSN, GGSN a internet, internet a router spojuje linka PPP_DS3. Linka 100BaseT bola použitá medzi prvkami smerovača a prepínača a taktiež pre komunikáciu medzi FTP serverom a prepínačom ako aj medzi HTTP serverom a prepínačom. Konkrétne použité modely sieťových prvkov, ich počet a názvy spolu s funkcionalitou sa nachádzajú v tabuľke 6.1.

Tab. 6.1: Prvky použité v navrhnutom scenári siete UMTS

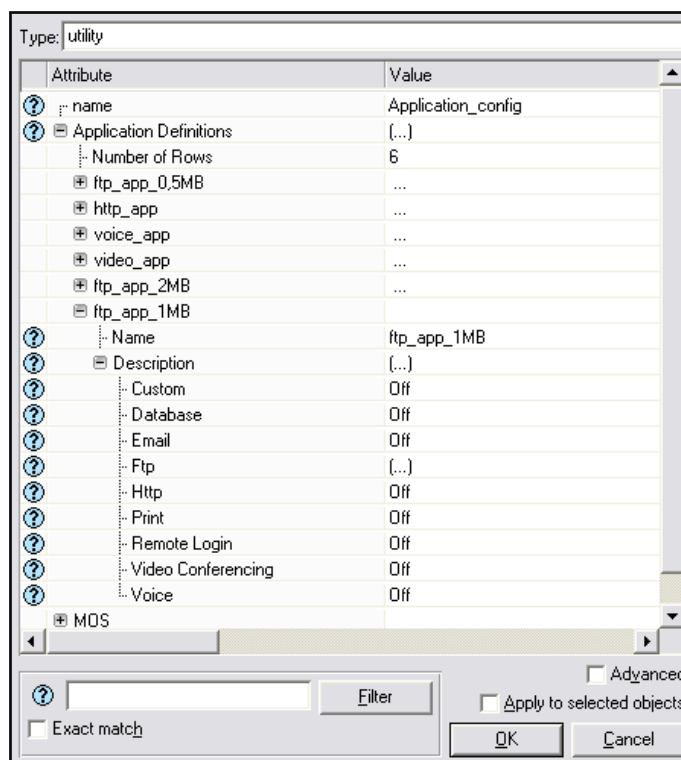
Počet a názov		Sieťový prvok	Popis
7×	UE	umts_wkstn_adv	Mobilné užívateľské zariadenie
4×	Node_B	umts_node_b_adv	Pevný uzol siete predstavujúci jednosektorovú základovú stanicu UMTS technológie
2×	RNC	umts_rnc_ethernet_atm_slip_adv	Pevný uzol siete predstavujúci RNC v rámci UTRAN. Tento uzol podporuje maximálne 8 pripojených Node_B, a podporuje ATM.
1×	SGSN	umts_sgsn_ethernet_atm9_slip_adv	Pevný uzol siete predstavujúci SGSN. Tento uzol podporuje ATM, ethernet i sériové rozhranie.
1×	GGSN	umts_ggsn_atm8_ethernet8_slip8_adv	Pevný uzol siete predstavujúci GGSN. Tento uzol podporuje ATM, ethernet i sériové rozhranie.
1×	Router	Ethernet4_slip8_gtwy	Pevný uzol siete predstavujúci klasický smerovací prvok. Tento uzol podporuje 8 ethernetových a 4 sériové rozhrania
1×	Switch	Ethernet16_switch_adv	Pevný uzol predstavujúci prepínač podporujúci 16 ethernetových rozhraní
2×	Dátový server	ethernet_server_adv	Pevný prvok siete predstavujúci server, ktorý prevádzkuje FTP službu alebo http službu
4×	Linka	AMT_OC3	Duplexná linka prepojujúca Node_B s uzlom RNC. Linka podporuje dátové rýchlosti do 155 Mb/s.
2×	Linka	ATM_adv	Duplexná linka prepojujúca RNC s uzlom SGSN. Nastavenie dátovej rýchlosti na 155 Mbit/s.
3×	Linka	PPP_DS3	Duplexná linka prepojujúca SGSN, GGSN, Internet a Router s dátovou rýchlosťou do 44,736 Mbit/s [10]
3×	Linka	100BaseT	Duplexná linka prepojujúca Router, Switch, FTP a http server s dátovou rýchlosťou do 100 Mbit/s

6.1.1 Nastavenie jednotlivých prvkov siete

Pre správne fungovanie modelu siete je nutné jednotlivé prvky optimálne nastaviť. Jedná sa najmä o nastavenie sieťových uzlov a účastníckych zariadení ale aj o vytvorenie aplikácií a ich správneho časovania v nastavení aplikačných profilov.

- **Vytvorenie aplikácií**

V modelovanom scenári jednotlivé účastnícke zariadenia využívajú štyri druhy služieb, ktorými sú: FTP, HTTP, hlasová služba a video služba (tab. 6.6). Z obrázku 6.2 je zrejmé, že jednotlivé účastnícke zariadenia môžu využívať 6 rôznych aplikácií vytvorených v bloku „Application Definition“.



Obr. 6.2: Vytváranie aplikácií v bloku "Application Definition"

Nastavenie FTP aplikácií

Možnosti i samotné nastavenia FTP aplikácií sú zobrazené v tabuľke 6.2.

Nastavené jednotlivé parametre udávajú:

Command Mix (Get/Total) – parameter udávajúci percentuálny pomer medzi odchádzajúcim a prichádzajúcim prenosom. Pri nastavení parametra na hodnotu 50% bude účastnícke zariadenie odosielať i prijímať z FTP servera súbory v pomere 1:1.

Inter-Request Time – parameter udávající čas v sekundách, který uplyne mezi dvěma požiadavkami vyslanými na FTP server. Tento čas je nutné nastaviť s ohľadom na veľkosť sťahovaného súboru a bitovú rýchlosť sťahovania nastavenú na účastníckom zariadení. V prípade, že tento čas je nastavený na menšiu hodnotu ako je potrebné, ďalšia požiadavka je poslaná na FTP server skôr, ako je predchádzajúci súbor stiahnutý. Nastavená konštantná hodnota 160 sekúnd pre aplikáciu ftp_app_0,5MB zodpovedá požiadavke na stiahnutie súboru o veľkosti 500 kB bitovou rýchlosťou na účastníckom zariadení 128 kbit/s. Tento prenos tak predstavuje ľahkú FTP záťaž.

File Size – parameter udávající veľkosť sťahovaného alebo nahrávaného súboru. V danej aplikácii nastavíme veľkosť súboru na konštantnú hodnotu 500 000 Byte v prípade aplikácie ftp_app_0,5MB.

Symbolic Server Name – parameter udávající symbolické meno dátového serveru určeného pre komunikáciu s danou aplikáciou

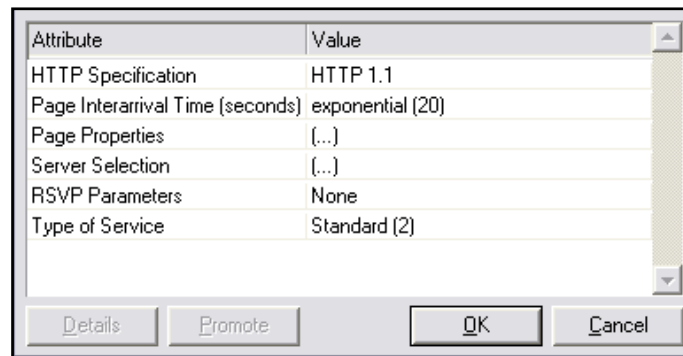
Type of Service – parameter určující zaradenie FTP služby v rámci TOS kvalitatívnych tried (tab. 6.3). Pre FTP aplikáciu zvolíme hodnotu Background 1, čím určíme nízku prioritu v hierarchii kvality služieb.

Tab. 6.2: Nastavenie parametrov jednotlivých FTP aplikácií

Nastavené FTP parametre	Názov FTP aplikácie		
	ftp_app_0,5MB	ftp_app_1MB	ftp_app_2MB
Command Mix [%]	50	100	50
Inter-Request Time [s]	Constant 160	Constant 100	Constant 250
File Size [Byte]	Constant 500 000	Constant 1 000 000	Constant 2 000 000
Symbolic Server Name	FTP Server	FTP Server	FTP Server
Type of Service	Background 1	Background 1	Background 1

Nastavenie HTTP aplikácie

Surfovanie po internete využíva v modelovanom scenári prostredníctvom HTTP aplikácie jedno užívateľské zariadenie. HTTP aplikáciu tak ako i ostatné aplikácie definujeme vo funkčnom bloku „Application Definition“. Aplikácia má nastavené parametre znázornené na obrázku (obr. 6.3).

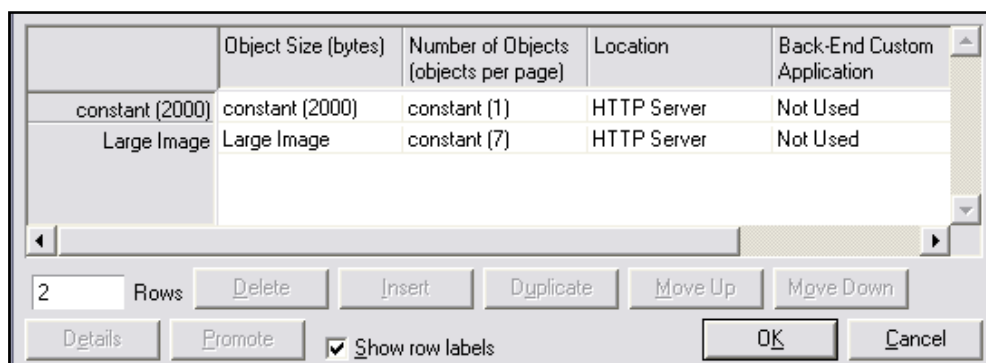


Obr. 6.3: Nastavenie HTTP aplikácie

HTTP Specification – parameter udávajúci špecifikáciu HTTP protokolu. Zvolená verzia 1,1 má v programe Opnet Modeler preddefinované vlastnosti udávajúce veľkosť požadovaného objektu od HTTP serveru (350 Byte), maximálny počet spojení s HTTP serverom na úrovni transportnej vrstvy (2 spojenia), maximálny možný čas nečinnosti spojenia pred jeho zánikom (10 sekúnd) a počet požiadaviek, ktoré môžu byť paralelne zaslané na HTTP server (všetky požiadavky).

Page Interarrival Time – parameter definujúci čas v sekundách medzi dvomi stiahnutými žiadosťami s HTTP serveru. Nastavíme na exponenciálnu hodnotu 20 sekúnd.

Page Properties – súhrn parametrov popisujúci sťahovaný obsah z http serveru. Konkrétne nastavenia sú zobrazené na obrázku 6.4.



Obr. 6.4: Nastavenie sťahovaného obsahu z HTTP servera

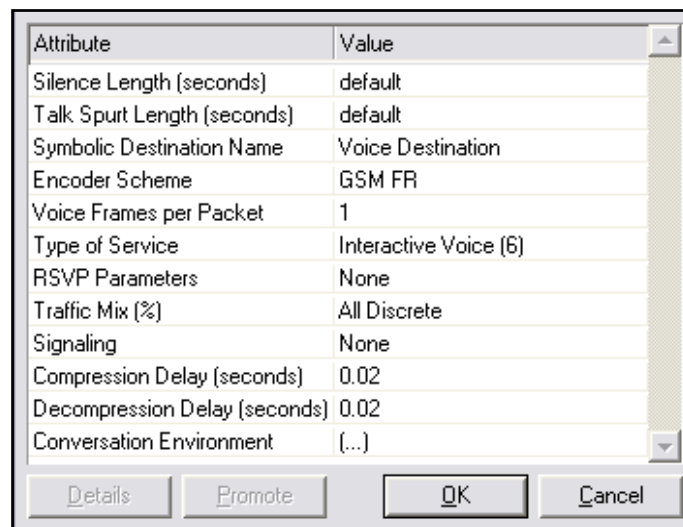
Server Selection – parameter definujúci algoritmus pravdepodobného správania sa užívateľa pri prehliadaní internetu na danom HTTP serveri. Nastavíme na prehliadanie s počtom 20 stiahnutých stránok z daného HTTP serveru pred jeho opustením.

RSVP Parameters – parameter udávajúci rezerváciu šírky pásma. Tento parameter nie je pri danom scenári využitý.

Type of Service - parameter určující zaradenie HTTP služby v rámci TOS kvalitatívnych tried (tab. 6.3). Pre HTTP aplikáciu zvolíme hodnotu Standard 2, čím určíme strednú prioritu v hierarchii kvality služieb.

Nastavenie hlasovej komunikácie

Na hlasovej komunikácii sa podieľa dvojica účastníckych zariadení. Obidve využívajú aplikáciu „voice_app“ s nasledovnými parametrami (obr. 6.5).



Attribute	Value
Silence Length (seconds)	default
Talk Spurt Length (seconds)	default
Symbolic Destination Name	Voice Destination
Encoder Scheme	GSM FR
Voice Frames per Packet	1
Type of Service	Interactive Voice (6)
RSVP Parameters	None
Traffic Mix (%)	All Discrete
Signaling	None
Compression Delay (seconds)	0.02
Decompression Delay (seconds)	0.02
Conversation Environment	(...)

Obr. 6.5: Nastavenie aplikácie pre hlasovú službu

Pri nastavení aplikácie pre hlasovú službu je jedným z kľúčových parametrov voľba používaného hlasového kódeku (Encoder Scheme). Na výber je niekoľko druhov, v simulovanom scenári zvolíme GSM FR, predstavujúci hlasovú komunikáciu s prenosovou rýchlosťou 12,2 kbit/s.

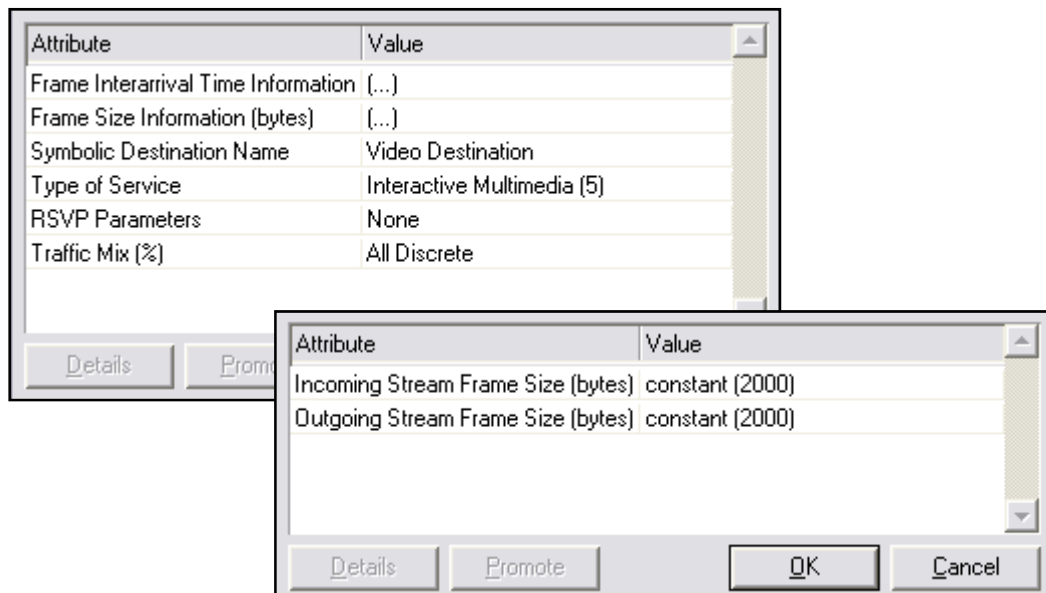
Tak ako pri predchádzajúcich aplikáciách i pri hlasovej službe definujeme triedu kvality služieb. Hlasovej komunikácii zodpovedá trieda „Interactive Voice 6“, ktorá spadá do konverzačnej triedy v QoS modeli (tab. 6.3).

Nastavenie video komunikácie

Na video komunikácii sa podieľa dvojica účastníckych zariadení (tab. 6.6). Vzhľadom na konferenčný charakter komunikácie, video službu zaraďujeme do interaktívnej triedy multimédií v hierarchii TOS. V QoS hierarchii tak bude táto služba zaradená v konverzačnej triede. Na nasledujúcom obrázku 6.6 sú znázornené konkrétne parametre video prenosu.

Veľkosť jednotlivých rámcov prichádzajúceho prenosu i odchádzajúceho prenosu je nastavená na hodnotu 2 000 Byte. Nastavením hodnoty časového intervalu rámcov (Frame Interarrival Time Information) definujeme počet rámcov prenesených za jednu sekundu. Hodnota 0,125 tak určuje prenos 8 rámcov¹ za jednu sekundu tak ako v smere uplink tak i v smere downlink. V prípade konvolučného kódovania s pomerom 1/2 dostávame dátový tok 256 kbit/s (6.1). Pre správne fungovanie aplikácie tak musíme tento dátový tok nastaviť i na danom užívateľskom zariadení podieľajúcom sa na video komunikácii.

$$\begin{aligned}
 2\,000\text{ B} &= 16\,000\text{ bit} \\
 16\,000\text{ bit} \times 8\text{ rámcov/s} &= 128\text{ kbit/s} \\
 128\text{ kbit/s} \times 2 &= 256\text{ kbit/s}
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$



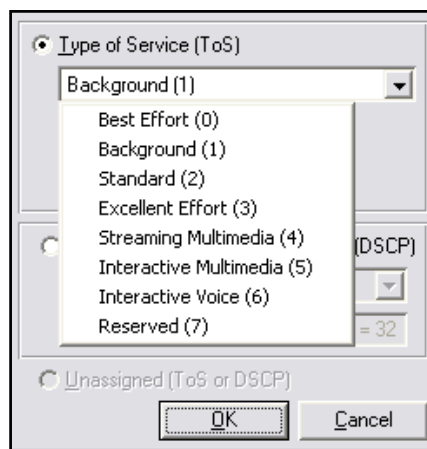
Obr. 6.6: Nastavenie parametrov video aplikácie

Triedy služieb ToS

Pre zabezpečenie požadovanej prenosovej kvality a požadovaných parametrov je nevyhnutné jednotlivé služby zaradiť do korešpondujúcich kvalitatívnych tried. Nasledujúci obrázok 6.7 zobrazuje možnosti nastavení ToS (Type of Service) pre jednotlivé služby. Triedy ToS spadajú do štyroch tried QoS ktoré boli štandardizované 3GPP. Najnižšiu prioritu tvorí ToS trieda „Best Effort“, ktorá sa snaží vyjednávať vždy čo najlepšie požiadavky pre danú službu bez ohľadu na iné služby. Najvyššiu prioritu naopak tvorí ToS trieda „Reserved“, ktorá pre službu rezervuje prostriedky siete, ktoré potom daná služba môže neobmedzene využívať. Nasledujúca tabuľka 6.3 zobrazuje zaradenie jednotlivých tried ToS do modelu QoS a priradenie daných tried jednotlivým aplikáciám. Vzájomnú väzbu ToS tried s triedami QoS

¹ $\frac{1\text{s}}{0,125} = 8\text{ rámcov/s}$

je pritom v programe Opnet Modeler možné meniť v rámci konfigurácie logických UMTS kanálov na účastníckom zariadení.



Obr. 6.7: Možnosti nastavenie Type of Service

Tab. 6.3: Priradenie kvalitatívnych tried jednotlivým službám siete

QoS trieda	ToS trieda	Priradená služba
Konverzačná	Reserved	
	Interactive Voice	Hlasová služba
	Interactive Multimedia	Video služba
Streamovacia	Streaming Multimedia	
Interaktívna	Excellent Effort	
	Standard	HTTP služba
Prenos na pozadí	Background	FTP služba
	Best Effort	

- **Definovanie aplikačných profilov**

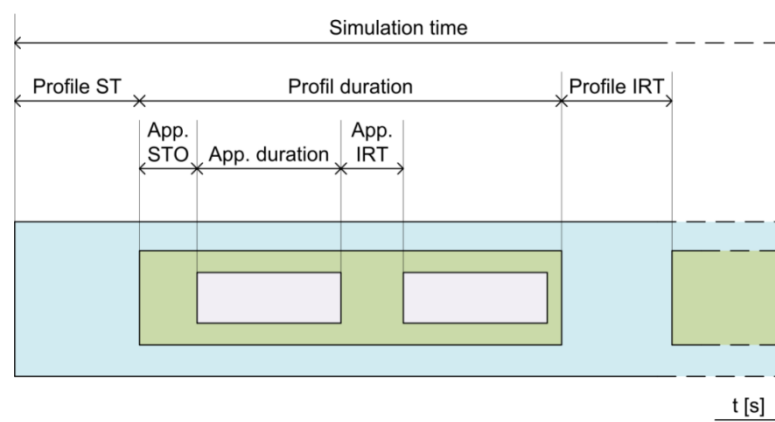
Po nastavení aplikácií v programovom bloku „Application Definition“ je nutné taktiež definovať jednotlivé profily pre spúšťanie aplikácií v programovom bloku „Profile Definition“. V jednom profile je možné definovať viacero aplikácií s rôznymi časmi spustenia i rôznymi parametrami opakovaní. Nastavenie jednotlivých profilov pre dané aplikácie modelovanej siete uvádza tabuľka 6.4.

Tab. 6.4: Časové nastavenia jednotlivých aplikácií

Celková doba simulácie = 1 500 sekúnd (25 minút)				
Názov aplikácie	Čas spustenia aplikácie [s]	Doba trvania aplikácie [s]	Čas ukončenia aplikácie [s]	Opakovanie aplikácie
voice_app	120	110	330	po 300 s.
video_app	250	650	900	Nie
http_app	420	480	900	Nie
ftp_app_0,5MB	300	1 000	1300	Nie
ftp_app_1MB	315 - 320	Do konca simulácie	Koniec simulácie	Nie
ftp_app_2MB	455 - 460	1 000	1 455 - 1 460	Nie

Z tabuľky časových parametrov spúšťania jednotlivých aplikácií je zrejmé, že ako prvá sa spustila aplikácia s hlasovou službou, a to v čase 120 sekúnd od začiatku simulácie. Doba trvania tejto aplikácie je 110 sekúnd s opakovaním po 300 sekundách. Z uvedeného vyplýva, že v simulačnom čase 1 500 sekúnd (25 minút) sa aplikácia hlasovej služby spustí 4 krát. Podľa výsledkov jednotlivých meraní je dôležité klásť dôraz taktiež na čas spustenia profilu a teda i jednotlivých aplikácií. Tento čas by nemal byť nastavený na hodnotu kratšiu ako 120 sekúnd od spustenia simulácie. V prípade, že spustenie aplikácie nastane skôr, môže nastať situácia fyzického nespustenia sa aplikácie z dôvodu neinicializovania siete.

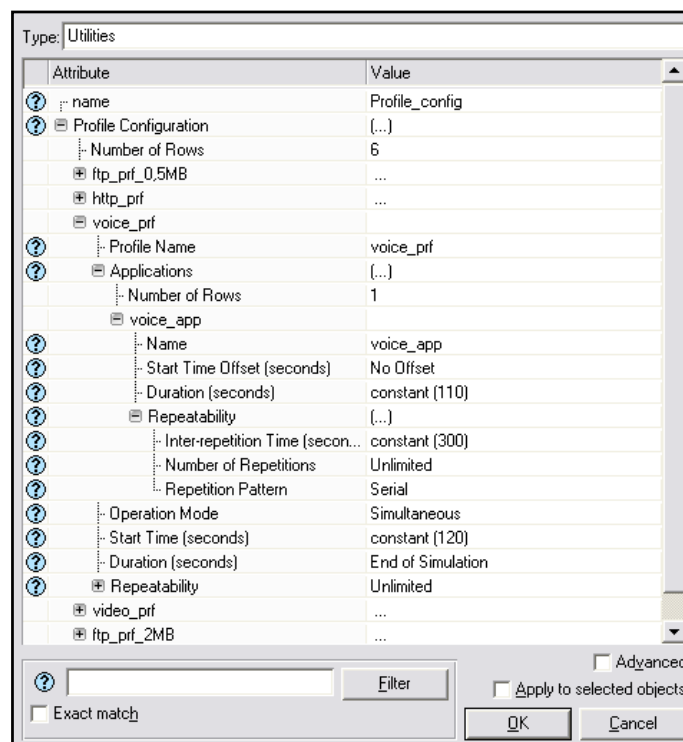
Obrázok 6.8 zobrazuje význam jednotlivých časových parametrov, ktoré je možné nastaviť pre jednotlivé aplikácie v profiloch (obr. 6.9). V prípade nekorektného nastavenia, teda napríklad v prípade skoršieho nastavenia spustenia aplikácie ako profilu, nebude daná aplikácia spustená, čo zobrazuje i prehliadač logov po uplynutí simulácie.

**Obr. 6.8:** Časová os parametrov simulácie²

² Anglické popisky v danom obrázku boli zvolené vzhľadom na jasnejšiu náväznosť nastavení podľa obrázka 6.9

Vysvetlivky jednotlivých časových parametrov z obrázka 6.8, ktorých príklad nastavenia je zobrazený na obrázku 6.9:

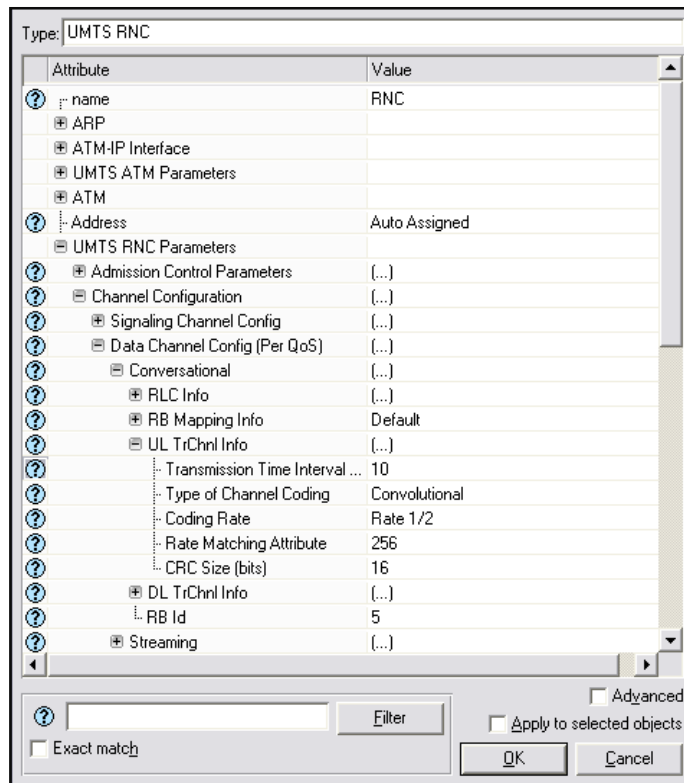
- **Profile ST** – Profile Start Time – čas spustenia profilu od začiatku simulácie
- **Profil duration** – čas trvania profilu
- **Profile IRT** – Profile Inter-Repetiton Time – pauza medzi opakovaním profilu
- **App. STO** – Application Start Time Offset – časový interval spustenia aplikácie od spustenia profilu
- **App. Duration** – Application Duration – čas trvania aplikácie
- **App. IRT** – Application Inter-Repetition Time – pauza medzi opakovaním aplikácie



Obr. 6.9: Príklad nastavenia aplikačných profilov

- **Nastavenie RNC (Radio Network Controller)**

RNC riadi jednotlivé základové stanice Node_B a komunikuje s uzlom SGSN. Do RNC tak prichádzajú dáta z jednotlivých Node_B a sú ďalej smerované do SGSN. V tomto uzle je preto potrebné nastaviť správne parametre dátových kanálov jednotlivých QoS tried.



Obr. 6.10: Príklad nastavení parametrov v RNC

Transmission Time Interval (TTI) – parameter udávajúci čas v milisekundách, ktorý je potrebný na prenesenie jedného transportného bloku dátovým kanálom. V prípade dvojice RNC nachádzajúcich sa v sieti a naprieč všetkými QoS triedami nastavíme pre dátové kanály hodnotu TTI na 10 milisekúnd. Na základe početných meraní a vzhľadom na dosiahnuté výsledky sa daná hodnota TTI javila ako najoptimálnejší variant k danému nastaveniu siete.

Coding Rate – parameter udávajúci kódovací pomer konvolučného kódovania kanálu. Zvolená hodnota 1/2 pre QoS triedy dátového kanálu a smer prenosu uplink i downlink udáva pomer vstupného a výstupného signálu. V takomto prípade bude každý vstupný bit signálu zakódovaný do 2 bitov signálu výstupného. Z uvedeného vyplýva, že konvolučným kódovaním je dvojnásobne zvýšený dátový tok. Túto skutočnosť preto musíme brať do úvahy najmä pri nastavovaní požadovaných bitových rýchlostí v QoS profiloch na jednotlivých užívateľských zariadeniach. Opnet Modeler pre technológiu UMTS neponúka vo svojich nastaveniach možnosť zmeny konvolučného kódovania na iný druh kódovania.

Time Discard – parameter udávající časovou hodnotu v milisekundách, která uplyne do zahodění datové jednotky. Vo vysílači je tento časovač aktivovaný po příchodu datové jednotky z vyšší vrstvy. Časovač je použitý pro každou datovou jednotku, která je přijatá z vyšší vrstvy. Na datovém kanálu je možné pro každou QoS třídu nastavit vlastní časovač zahodění datové jednotky. Pro správné fungování služeb nastavíme v položce datových kanálů každé QoS třídy časovač na hodnotu 7 500 milisekund. V případě nastavení nižší hodnoty jako 7 500 milisekund daná modelovaná síť vykazovala velkou stratovost paketů FTP služby následkem čehož byl celkový pád služby bez opětovného navázání spojení.

Soft Handover – RNC se podílí na řízení handoveru (přehodění mezi bunkami), tedy přechodu jednotlivých stanic z jedné bunky do druhé. V modelu UMTS sítě se nacházejí 4 bunky se vzájemným čiastočným překrýváním, je tedy vhodné nastavit položku Soft Handover na pole „Supported“ (podporovaný). V takovém případě budou jednotlivé účastnické zařízení nacházející se v překryve více buněk komunikovat s více základovými stanicami Node_B.

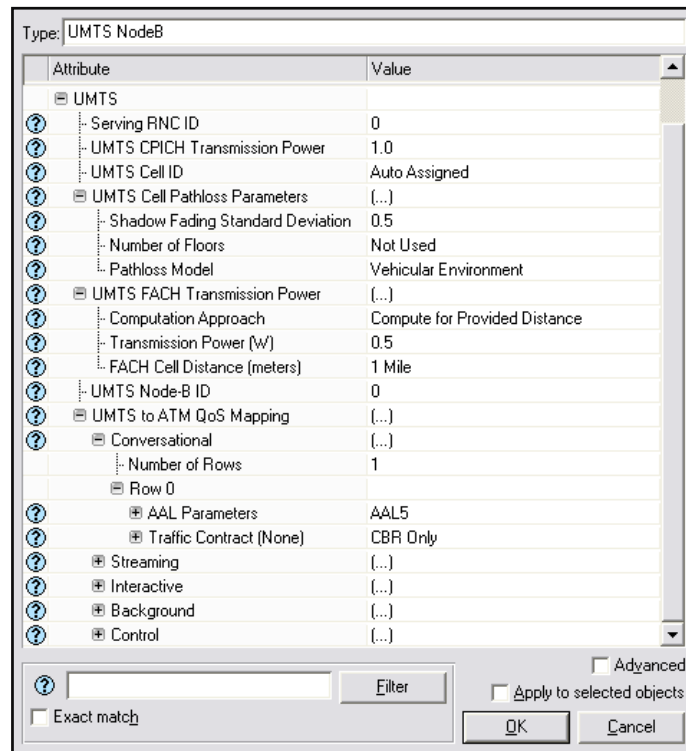
Macro Diversity – parameter podílející se na správném a efektivním využití soft handoveru. Nastavením mezních hodnot makro diversity a hysterézy je možné dosáhnout lepšího využití překrývající se oblasti buněk [16]. Hodnotu Macro Diversity Threshold nastavíme na 4,0 dB, hodnotu Macro Diversity Hysteresis na 1,0 dB a hodnotu Replacement Hysteresis na 1,0 dB.

- **Nastavení základové stanice Node_B**

Základová stanice Node_B na jedné straně komunikuje s účastnickými zařízeními v dosahu své oblasti a na straně druhé předává data to RNC, která ji řídí. V nastaveních Node_B se tak nacházejí převážně parametry týkající se přímých nastavení jednotlivých buněk a jejich správy na základě požadovaného modelu.

FACH Cell Distance – parameter udávající výkonový dosah základové stanice Node_B. V případě zadání vzdálenosti se potřebný výkon pro dosažení této vzdálenosti přepočítá automaticky v případě, že je tak povoleno v položce „Computation Approach“. Hodnotu vzdálenosti nastavíme na 1 míľ. Táto vzdialenosť zároveň určuje i polomer jednej bunky. Farebné zvýraznenie jednotlivých buniek na obrázku 6.1 zodpovedá skutočnému výkonovému dosahu jednotlivých základových staníc Node_B.

UMTS to ATM QoS Mapping – parametre udávajúce pravidlá mapovania UMTS QoS parametrov do jednotlivých ATM adaptačných vrstiev a ATM tried. Nasledujúca tabuľka 6.5 zobrazuje zvolené hodnoty platné pre scenár UMTS siete.



Obr. 6.11: Príklad nastavenia parametrov základovej stanice Node_B

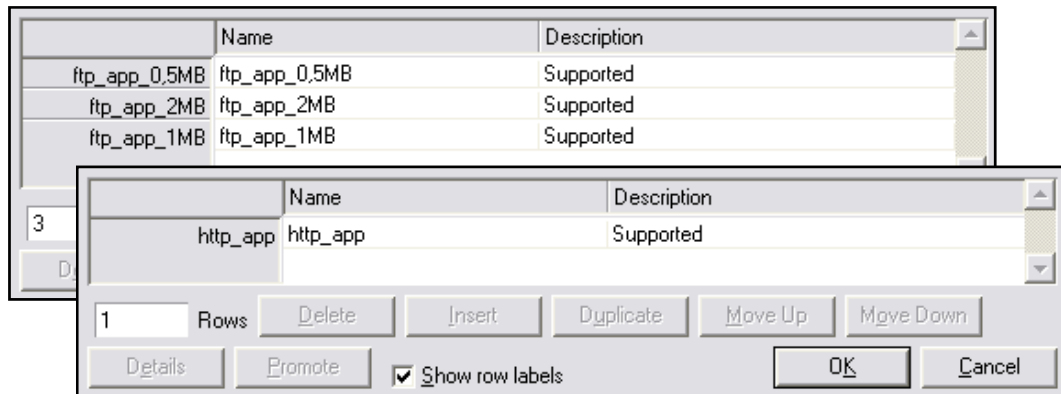
Tab. 6.5: Nastavenie mapovania UMTS QoS parametrov do ATM adaptačných tried a služieb

UMTS QoS trieda	ATM adaptačná vrstva	ATM trieda služieb
Konverzačná	AAL5	CBR Only
Streamovacia	AAL5	RT-VBR Only
Interaktívna	AAL5	NRT-VBR Only
Služby na pozadí	AAL5	UBR Only
Kontrolná	AAL5	UBR Only

Pathloss Model – parameter udávajúci model rádiového rozhrania. Pri nastavení položky na hodnotu „Vehicular Environment“ bude simulované mestské a predmestské prostredie so strednými vzdialenosťami medzi jednotlivými budovami a menšou difrakciou signálu ako tomu je u modelu simulujúceho husto osídlenú oblasť.

- **Nastavenie FTP a HTTP servera**

FTP server v modelovanom scenári UMTS siete prevádzkuje 3 FTP aplikácie (obr. 6.12), ktoré sú využívané jednotlivými účastníckymi zariadeniami.



Obr. 6.12: Aplikácie prevádzkované FTP a HTTP serverom

Pre správne nastavenie FTP servera je tak nutné vytvoriť FTP aplikácie v bloku „Application Definition“ a aktivovať ich následnú podporu na dátovom serveri pod položkou „Application: Supported Services“.

Receive Buffer – položka definujúca veľkosť buffera slúžiaceho pre prichádzajúce dáta pred ich následným poslaním na vyššie vrstvy. Tento buffer sa nachádza na TCP vrstve a poskytuje možnosť nastavenia až do veľkosti 65 535 Byte. Svoje uplatnenie nachádza najmä pri väčšom množstve FTP aplikácií a následnom vyššom počte požiadaviek na FTP server. Túto hodnotu preto nastavíme na 65 535 Byte.

Minimum RTO – parameter udávajúci minimálnu hodnotu v sekundách, počas ktorej sa server bude v prípade výpadku spojenia pokúšať o opätovné spojenie s účastníckym zariadením. Hodnotu nastavíme na 3 sekundy.

HTTP server prevádzkuje aplikáciu nazvanú http_app. Podobne ako pri nastavení FTP servera aktivuje podporu tejto aplikácie cez položkové menu „Application: Supported Services“ (obr. 6.12).

- **Nastavenie účastníckych zariadení UE**

V modelovanom QoS scenári UMTS siete sa nachádza celkom 7 účastníckych zariadení UE. Na každom zariadení beží jedna alebo viacero aplikácií. Ich prehľad a vzájomné väzby sú zobrazené v tabuľke 6.6.

Jednotlivé aplikácie majú rôzne požiadavky na prenosové vlastnosti a šírku pásma. Preto je nevyhnutné, vzhľadom na zaradenie aplikácií do jednotlivých QoS tried, správne nastaviť i podporu bitovej rýchlosti v daných QoS triedach na samotných účastníckych zariadeniach. Nastavenie bitových rýchlostí u jednotlivých účastníckych zariadení v QoS scenári je prehľadne uvedené v tabuľke 6.7. Hodnoty boli zvolené na základe požiadaviek jednotlivých služieb (viď. nastavenie aplikácií) so zreteľom na ich správne fungovanie.

Pri scenári „Best Effort“ sa všetky služby nachádzajú v triede služieb na pozadí, a tak pri tomto scenári postačí nastaviť jednotlivé polia položky „Bit Rate Config“ spadajúce do triedy služieb na pozadí – „Background“.

Tab. 6.6: Názvy jednotlivých UE, aplikácie ktoré využívajú a ich vzájomná väzba

Názov účastníckeho zariadenia UE	Využívaná aplikácia daným UE	Vzájomné väzby medzi jednotlivými UE
UE_ftp_1	ftp_app_2MB	Komunikácia so serverom
UE_ftp_2	ftp_app_2MB	Komunikácia so serverom
UE_http	http_app	Komunikácia so serverom
UE_voice_vola,ftp	voice_app	Volajúci účastník k UE_voice_prijima
	ftp_app_0,5MB	Komunikácia so serverom
UE_video_vola, ftp	video_app	Volajúci účastník k UE_video_prijima
	ftp_app_1MB	Komunikácia so serverom
UE_voice_prijima	voice_app	Volaný účastník od UE_voice_vola, ftp
UE_video_prijima	video_app	Volaný účastník od UE_video_vola, ftp

Tab. 6.7: Nastavenia bitových rýchlostí na jednotlivých užívateľských zariadeniach

QoS trieda	Konverzačná		Streamovacia		Interaktívna		Služby na poz.	
	UL [kbit/s]	DL [kbit/s]	UL [kbit/s]	DL [kbit/s]	UL [kbit/s]	DL [kbit/s]	UL [kbit/s]	DL [kbit/s]
UE_ftp_1	X	X	X	X	X	X	128	128
UE_ftp_2	X	X	X	X	X	X	128	128
UE_http	X	X	X	X	64	64	X	X
UE_voice_vola, ftp	64	64	X	X	X	X	128	128
UE_video_vola, ftp	256	256	X	X	X	X	128	128
UE_voice_prijima	64	64	X	X	X	X	X	X
UE_video_prijima	256	256	X	X	X	X	X	X

X = 64 kbit/s (prednastavená hodnota bitovej rýchlosti daných QoS tried programom Opnet Modeler po pridelení užívateľského zariadenia do siete)

Podporu jednotlivých aplikácií na samotných užívateľských zariadeniach naďefinujeme v položke „Application: Supported Profiles“, respektíve v položke „Application: Supported Services“. Rozdielnosť týchto možností je definovaná požiadavkou užívateľa s daným koncovým zariadením. V prípade nastavenia podporujúcich profilov („Supported Profiles“) bude dané účastnícke zariadenie v sieti vystupovať ako iniciátor prenosu, ktorý spúšťa naďefinované profily služieb. V modelovanom scenári takýmito zariadeniami sú „UE_voice_vola, ftp“, „UE_video_vola, ftp“, „UE_http“, „UE_ftp_1“ a „UE_ftp_2“. V prípade nastavenia podpory služieb („Supported Services“) budú dané zariadenia v sieti vystupovať ako server služby. Takýmito zariadeniami v modelovanom scenári sú „UE_voice_prijima“ a „UE_video_prijima“.

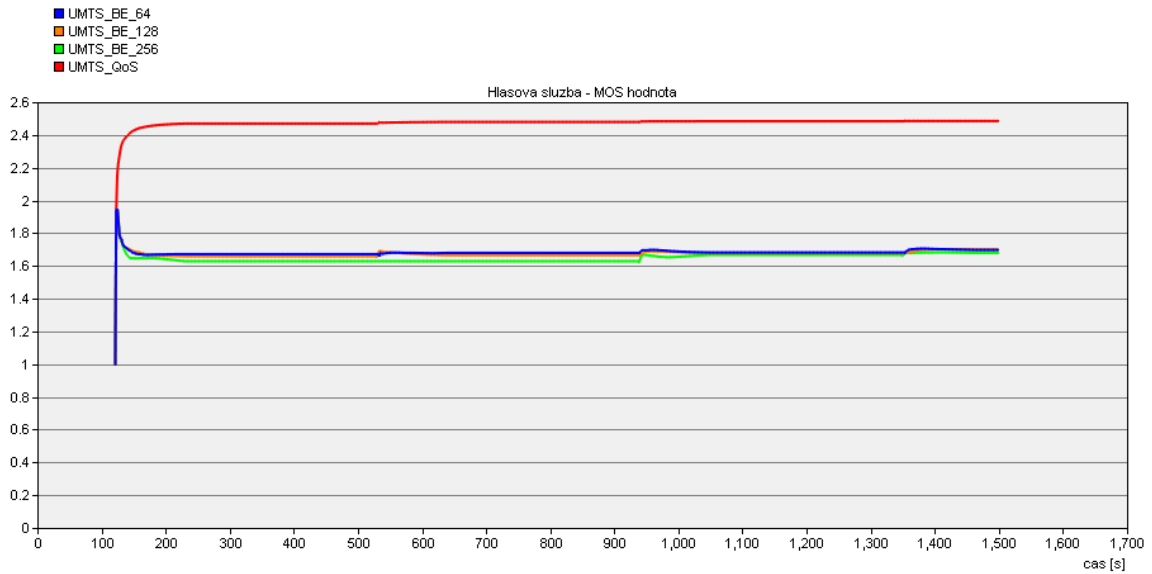
6.2 Výsledky simulácií

Výsledky simulácií obsahujú grafy a vyhodnotenia najdôležitejších parametrov daných modelovaných služieb. Pre názornejšie zobrazenie implementácie a vplyvu QoS parametrov je prevedené grafické porovnanie navrhnutého QoS modelu s identickými modelmi siete bez nastavených služieb v daných triedach QoS, to znamená, že jednotlivé služby majú priradenú prednastavenú voľbu mechanizmu Best Effort (BE). Tento mechanizmus predstavuje jednu z prvých metód telekomunikačných služieb a žiadosť o prístup na médium. Služba sa vždy snaží pre svoje potreby vyjednať so sieťou čo najlepšie parametre nehľadiac pritom na ostatné služby. V konečnom dôsledku tak dochádza k javu, že jednotlivé služby sa značne ovplyvňujú a ich parametre sú veľmi premenlivé a závislé na ostatných prenosoch. Pri tejto metóde tak nie je možné garantovať parametre daného prenosu a kvalitu služby. V troch scenároch bez implementácie QoS (Best Effort scenáre) sú nastavené bitové rýchlosti pre jednotlivé užívateľské zariadenia v triede služieb na pozadí na 64 kbit/s (scenár UMTS_BE_64 – modrá krivka), 128 kbit/s (scenár UMTS_BE_128 – oranžová krivka) a 256 kbit/s (scenár UMTS_BE_256 – zelená krivka)

6.2.1 Kvalita hlasovej komunikácie

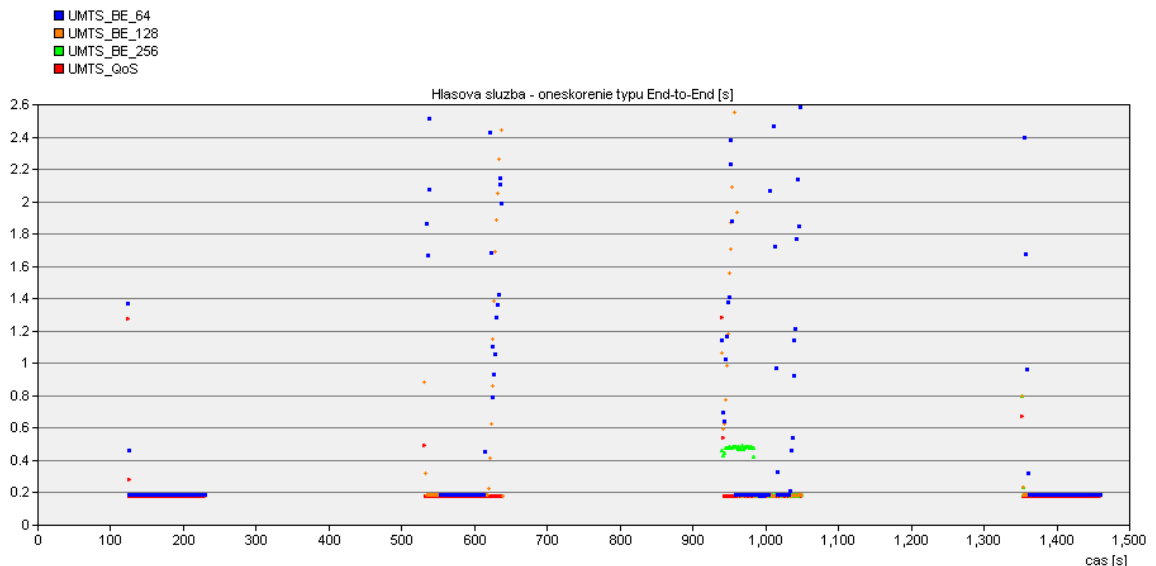
Hodnota MOS vo všeobecnosti predstavuje numerickú metódu vyjadrenia kvality hlasovej služby a ponúka tak číselnú indikáciu vnímanej kvality preneseného signálu. Nadobúda hodnoty v rozmedzí 1 (najhoršia kvalita) až 5 (najlepšia kvalita), pričom nie sú vylúčené ani desatinné miesta. Všeobecne sa za hodnotu, pri ktorej je možná komunikácia, považuje MOS na úrovni 3. Hodnota na úrovni 1 až 2 predstavuje vysoko nezrozumiteľnú komunikáciu s častými chybami [17].

Obrázok 6.13 zobrazuje charakteristiku nadobudnutej hodnoty MOS (Mean Opinion Score) pre jednotlivé simulované scenáre s implementovanými parametrami QoS ako aj bez implementácie kvality služieb (Best Effort scenáre). Z charakteristík je zrejmé, že implementácia QoS má výrazný podiel na zlepšení kvality hlasovej komunikácie. Zatiaľ čo hodnota MOS v scenároch bez nastavených QoS tried nadobúda hodnotu maximálne 1,7, MOS hodnota tej istej hlasovej služby s nastavenou konverzačnou triedou nadobúda hodnotu 2,5 (červená krivka). Táto hodnota predstavuje úroveň, ktorá je na pokraji akceptovateľnej kvality na základe ľudského vnímania. Tento stav je ale zapríčinený najmä vyšším oneskorením (0,18 sekundy), ktoré vzniká pri hlasovej komunikácii zabezpečenej paketovým prenosom.



Obr. 6.13: MOS hodnota hlasovej služby

Príčinou zníženej kvality komunikácie v scenároch bez implementácie QoS je najmä veľký počet ďalších služieb, ktoré sa uchádzajú o spoločné sieťové zdroje a voľné prenosové pásmo. Touto súťažou tak vzniká značné vzájomné ovplyvňovanie sa služieb a v konečnom dôsledku značná degradácia prenosu a kvality služby na strane koncového užívateľa. Táto degradácia je zrejماً tak ako z hodnoty MOS tak i z oneskorenia, ktoré vzniká medzi pri komunikácii dvoch koncových užívateľov (obr. 6.14).



Obr. 6.14: Hlasová služba - oneskorenie typu End-to-End

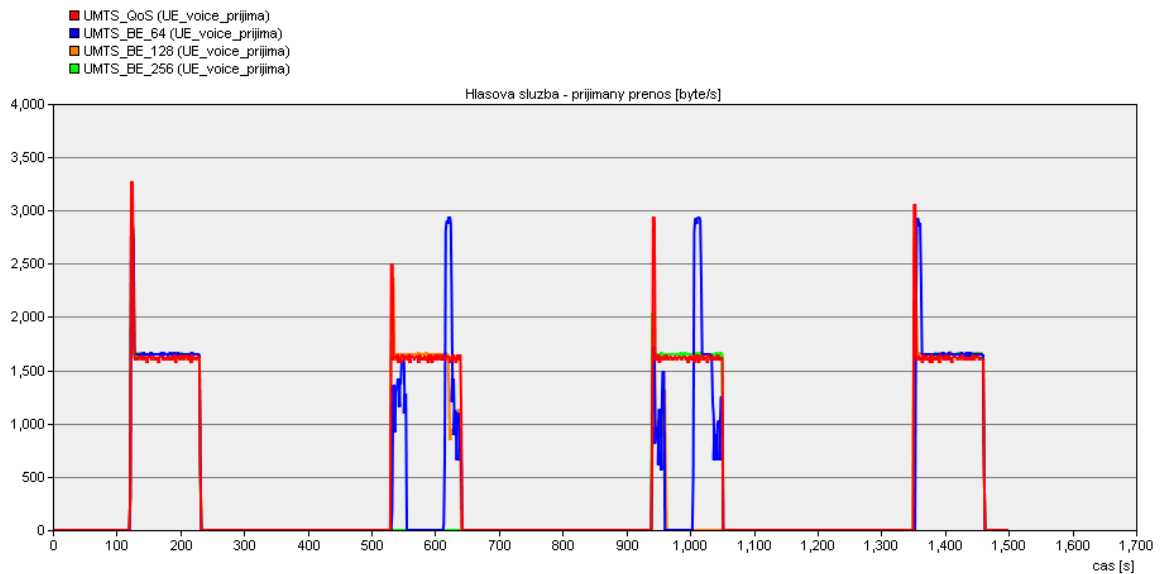
Ovplyvňovanie hlasovej komunikácie v scenároch bez implementácie QoS je viditeľné najmä v dvoch stredných komunikačných blokoch, teda práve v čase keď jedno z dvojice komunikujúcich užívateľských zariadení využíva i FTP službu, ktorú reprezentuje aplikácia ftp_app_0,5MB. Táto aplikácia je aktivovaná v 300. sekunde času simulácie a trvá do 1 300. sekundy simulácie. Počas súbežného prenosu aplikácií na jednom užívateľskom zariadení tak dochádza k ich značnému vzájomnému ovplyvňovaniu sa zapríčineného súťažením o médium a spoločnými pridelenými sieťovými zdrojmi. Zatiaľ čo scenár s nastavenými QoS parametrami vykazuje priemerné oneskorenie na úrovni 0,18 sekundy, identické scenáre bez nastavených QoS parametrov nedokážu zaručiť oneskorenie pod 0,2 sekundy (tab. 6.8), ktoré predstavuje maximálnu akceptovateľnú hranicu pre hlasovú komunikáciu.

Tab. 6.8: Priemerné oneskorenie typu End-to-End podľa jednotlivých scenárov simulácie

Názov scenáru	Priemerné oneskorenie typu End-to-End [s]
UMTS_QoS	0,18
UMTS_BE_64	0,73
UMTS_BE_128	0,38
UMTS_BE_256	0,25

Degradovanie hlasovej komunikácie na UE_voice_prijima je zobrazené i na obrázku 6.15. Je nutné však dodať, že špička na začiatku priebehu komunikácie pri prijímanom prenose na prijímajúcom užívateľskom zariadení UE_voice_prijima nastáva z dôvodu absencie signalizácie a synchronizácie na strane UMTS modelu v programe Opnet Modeler [10]. Nepodporovanie týchto funkcií má za následok, že aplikácia začne i v prípade ešte neaktívneho PDP kontextu, teda nenadviazanej komunikácie medzi dvojicou zúčastnených strán. V takomto prípade nastane nakopenie dátového toku v uzloch siete po dobu vybudovania spojenia, ktoré následne prebieha podľa stanovených požiadaviek. Výsledkom tejto situácie je špička v priebehu a taktiež až 1,6 sekundové oneskorenie na začiatku každého bloku spojenia. Tento jav tak nastáva iba u volaného účastníka, pretože volajúci účastník inicializuje hovor, pokúša sa dovolať protiľahlej strane, od ktorej dostáva odpoveď v podobe korektného hovoru, pretože komunikácia je už nadviazaná.

Popísaný problém nenastáva v reálnej prevádzke UMTS siete, jedná sa len o chybu programového vybavenia programu Opnet Modeler a nedokonalosti sieťového modelu UMTS [10].

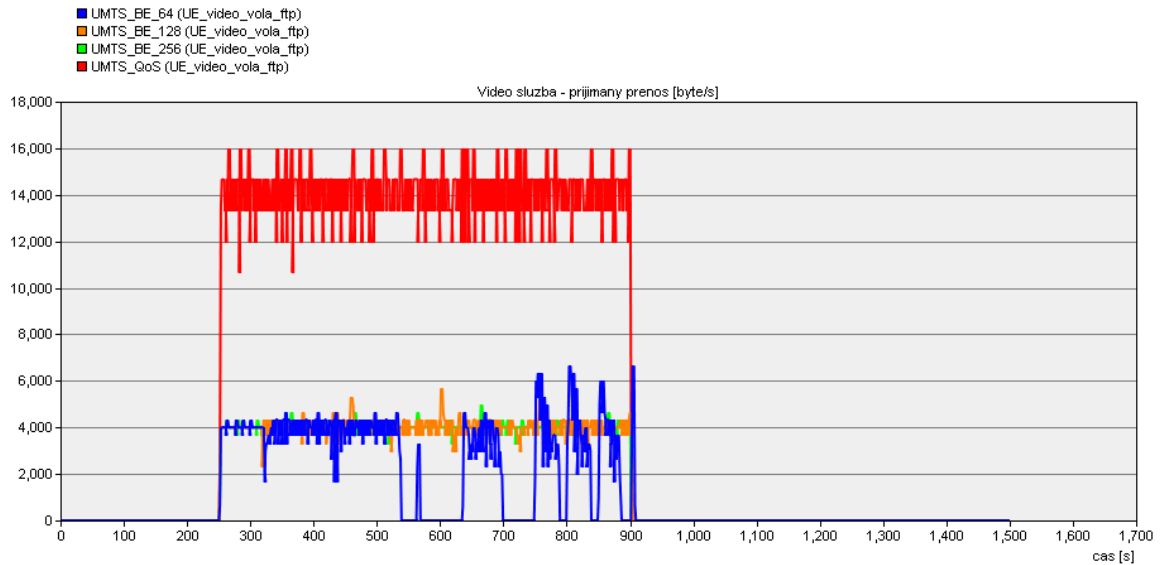


Obr. 6.15: Hlasová služba - prijimany prenos užívateľským zariadením UE_voice_prijima

6.2.2 Kvalita videokonferencie

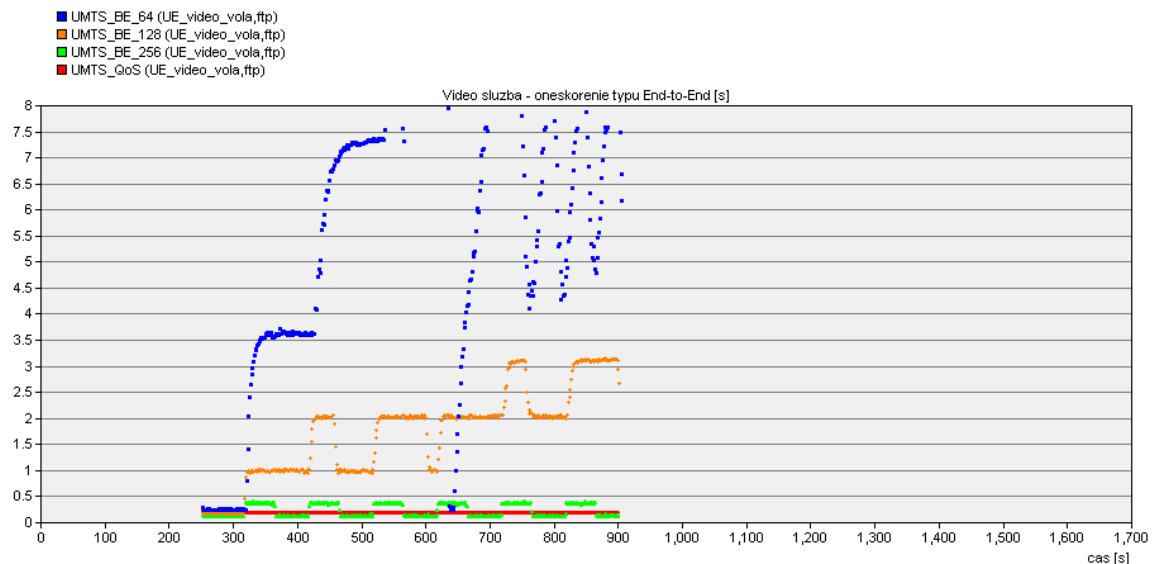
V prípade simulácie a vyhodnotenia videokonferencie bolo vzhľadom na možnosť porovnania vplyvu QoS parametrov nutné v scenároch bez implementácie QoS (Best Effort scenáre) nastaviť nižší dátový tok video služby. V prípade identickej dátovej náročnosti video služby ako v prípade QoS scenára (2 000 Byte / 1 snímok) nedošlo k inicializácii komunikácie z dôvodu nemožnosti alokovať dostatočnú šírku pásma v prenosovom kanále a to ani v prípade scenáru UMTS_BE_256, ktorý poskytuje 256 kbit/s v triede služieb na pozadí, teda v triede, do ktorej sú zaradené všetky používané služby. Z tohto dôvodu boli upravené nastavenia video služby na 500 Byte / 1 snímok v odchádzajúcom smere prenosu i v prichádzajúcom smere prenosu.

I napriek zníženému dátovému toku video služba nezaručuje v scenároch „Best Effort“ požadovanú konštantnú kvalitu komunikácie a je značne ovplyvnená najmä FTP prenosom bežiacim na užívateľskom zariadení UE_video_vola, ftp (obr. 6.16). Je zrejmé, že výpadky prenosu nastávajú najmä v prípade scenára UMTS_BE_64 (modrá krivka). Pri scenároch s vyššou bitovou rýchlosťou už video služba nezaznamenáva výpadky spojenia vzhľadom na to, že v danom kanále je už dostatočný priestor pre prevádzku video služby spolu s FTP aplikáciou sťahujúcou 1 MB súbor v periodických intervaloch.



Obr. 6.16: Video služba - prijímaný prenos užívateľským zariadením UE_video_vola, ftp

I napriek faktu, že pri poskytnutí vyšších dátových rýchlostí pri scenároch bez implementácie QoS už nenastávajú výpadky spojenia, video služba je ovplyvňovaná z pohľadu zvýšeného oneskorenia najmä v časoch od 320. sekundy simulácie, teda v čase, keď užívateľské zariadenie UE_video_vola, ftp aktivuje sťahovanie dátového súboru o veľkosti 1MB z FTP servera (tab. 6.4). Najvýraznejšia degradácia služby nastáva pre scenár UMTS_BE_64 kde dochádza k oneskoreniu v rádoch jednotiek sekúnd až do hodnoty 8 sekúnd (obr. 6.17).



Obr. 6.17: Video služba - oneskorenie typu End-to-End na užívateľskom zariadení UE_video_vola,ftp

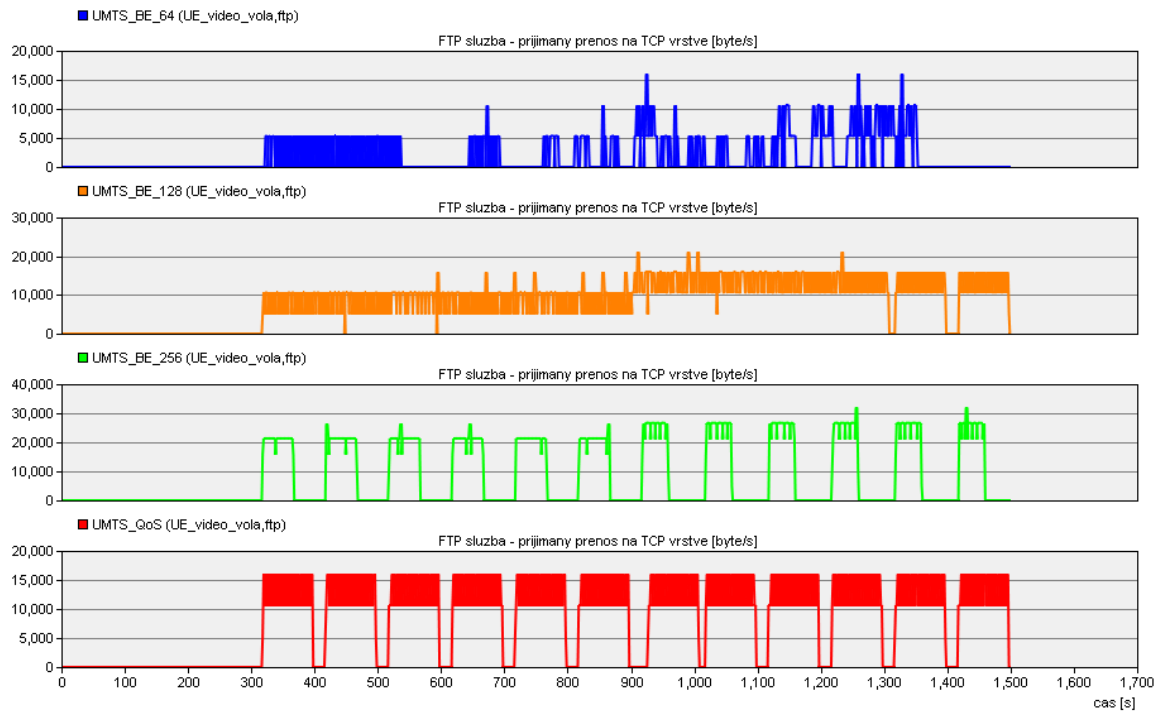
Z charakteristiky na obrázku 6.17 je taktiež badateľné výrazné kolísanie v časovom oneskorení, ktoré je práve pre služby v reálnom čase veľmi kritické. Zatiaľ čo video služba s náročnejším dátovým tokom a nastavenými parametrami QoS zabezpečuje konštantné

oneskorenie 0,2 sekundy, scenáre bez implementácie QoS mechanizmov dosahujú značnú variáciu oneskorenia závislú na FTP prenose. Tento fakt je zreteľný najmä pri scenári UMTS_BE_256 (obr. 6.17- zelená krivka), kde oneskorenie periodicky osciluje v závislosti na krivke FTP prenosu (obr. 6.18) v rozmedzí 0,3 sekundy okolo strednej hranice 0,25 sekundy.

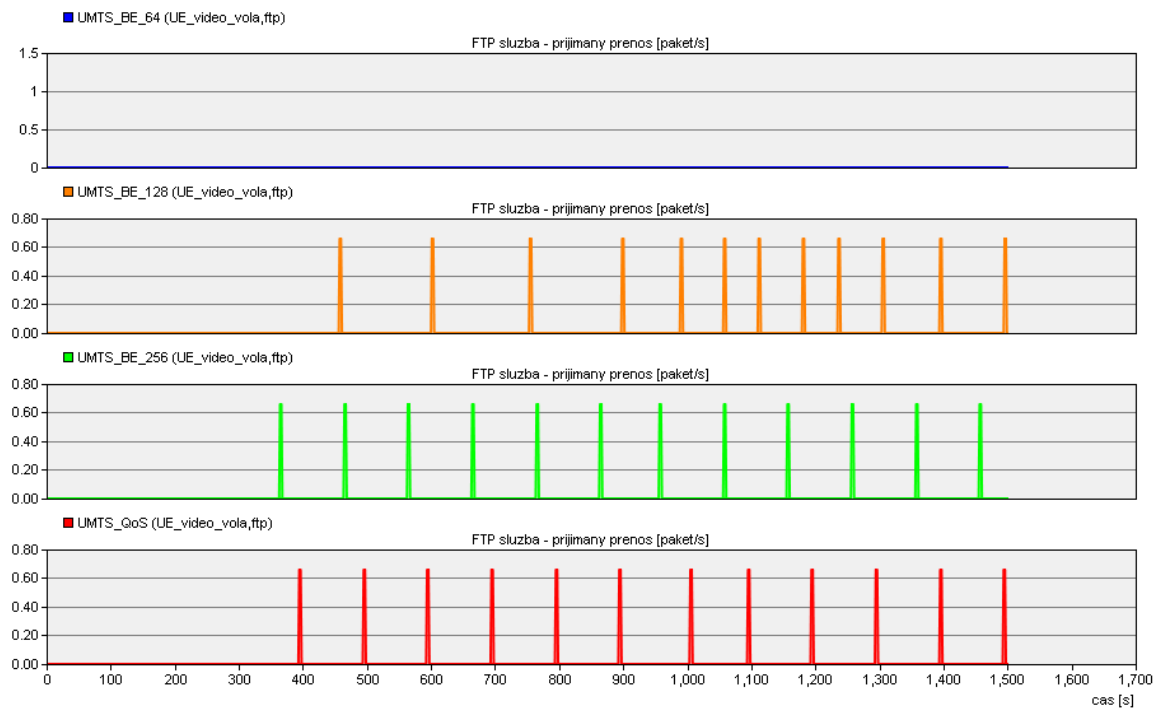
6.2.3 Vyhodnotenie FTP prenosu

FTP prenos prevádzkovaný súbežne s video aplikáciou na užívateľskom zariadení UE_video_vola, ftp je zobrazený na obrázku 6.18. Jedná sa o charakteristiku prijímaného prenosu na TCP vrstve aplikáciou ftp_app_1MB, ktorá má nastavený smer prenosu 100% downlink z FTP servera. Z charakteristiky je zrejmé, že nie len video služba je ovplyvnená FTP aplikáciou ale v scenároch bez nastavených QoS parametrov („Best Effort“) sa jednotlivé služby ovplyvňujú navzájom. Video aplikácia, ktorú užívateľské zariadenie používa od času 250. do 900. sekundy simulácie tak v tomto časovom intervale zdieľa šírku pásma dátového kanálu s ostatnými službami. Po čase 900. sekúnd nastáva značný nárast prenosovej rýchlosti a v konečnom dôsledku i rýchlejšieho sťahovania súborov z FTP servera (obr. 6.19 – oranžová krivka). V scenári UMTS_BE_128 (oranžová krivka) sa prenosová rýchlosť zvýšila z 84 kbit/s na 128 kbit/s a v scenári UMTS_BE_256 (zelená krivka) zo 172 kbit/s na 217 kbit/s. V tomto scenári dochádza i k najmenej zmene kriviek jednotlivých dátových blokov príčinou čoho je nastavená vysoká bitová rýchlosť (256 kbit/s) na jednotlivých užívateľských zariadeniach v triede služieb na pozadí. I keď sa jednotlivé aplikácie nachádzajú v jednej kvalitatívnej triede, je im poskytnutá požadovaná prenosová šírka pásma. Naopak, v scenári UMTS_BE_64 síce nastáva fyzické sťahovanie súboru (obr. 6.18 - modrá krivka), avšak nikdy nedôjde ku kompletnému stiahnutiu súboru (obr. 6.19). Príčinou tohto stavu je fakt, že v danom scenári je nastavená prenosová rýchlosť pre jednotlivé užívateľské zariadenia na 64 kbit/s. Táto prenosová rýchlosť by ale ani v prípade alokovania celého dostupného pásma FTP aplikáciou nepostačovala na stiahnutie súboru 1MB v časovom intervale 100 sekúnd. (viď. 6.1.1). Minimálny požadovaný časový úsek by bol 125 sekúnd³. Scenár UMTS_QoS nevykazuje žiadne známky vzájomného ovplyvňovania sa jednotlivých aplikácií a to najmä vďaka prioritizácií jednotlivých služieb.

³ 1 MB = 1 000 kB, 64kbit/s = 8 kB/s => 1 000/8 = 125 s



Obr. 6.18: FTP služba - prijímaný prenos užívateľským zariadením UE_video_vola,ftp na TCP vrstve



Obr. 6.19: FTP služba – prijímaný prenos paketov užívateľským zariadením UE_video_vola,ftp

6.2.4 Porovnanie výsledkov simulácie s reálnymi požiadavkami

Scenár s implementovanými QoS parametrami simuluje reálne správanie sa siete, vzhľadom na čo musí splňať i požiadavky kladené na parametre prenosu jednotlivých služieb. Reálne požiadavky spolu so zmeranými parametrami najviac využívaných služieb v 3G sieťach zobrazuje tabuľka 6.9. Hlasová služba ako najčastejší reprezentant služieb mobilných sietí dosahuje hodnoty na hranici kvalitatívnych požiadaviek prenosu vzhľadom na bezproblémovú komunikáciu koncových užívateľov. Prenosová rýchlosť hlasovej služby pritom závisí najmä od použitého rečového kodeku aplikácie. Oneskorenie 180 milisekúnd je považované za akceptovateľnú hodnotu v rámci dostatočnej kvality dorozumievania sa. Hodnota presahujúca hranicu 200 milisekúnd by už značne degradovala schopnosť komunikácie účastníkov.

Tab. 6.9: Porovnanie požadovaných a zmeraných parametrov jednotlivých služieb

Požadované/zmerané parametre	Prenosová rýchlosť	Oneskorenie	Kolíkanie oneskorenia
Hlasová služba			
Požadované	4-25 kbit/s	< 200 ms	< 1 ms
Zmerané	12,8 kbit/s	180 ms	0 ms
Video služba			
Požadované	32 – max. kbit/s	< 200 ms	< 1 ms
Zmerané	128 kbit/s	200 ms	0 ms
HTTP služba			
Požadované	max.	< 4 s/ stránka	-
Zmerané	64 kbit/s	8 s	-
FTP služba			
Požadované	max.	< 10 s	-
Zmerané	128 kbit/s	5 s ⁴	-

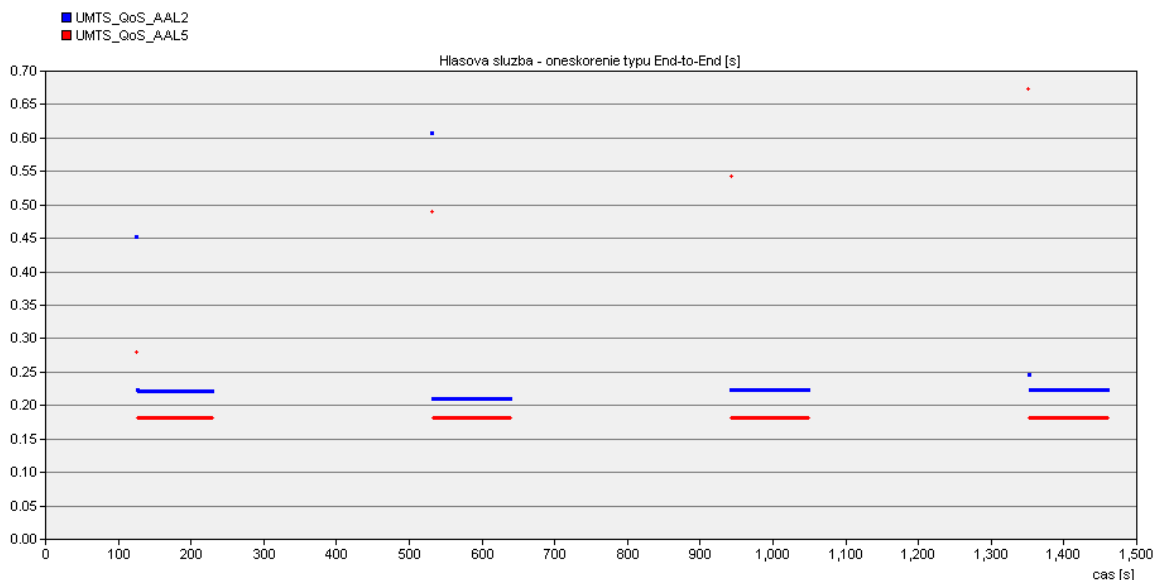
Video služba tak ako aj hlasová služba sa zaraďuje medzi služby v reálnom čase, v ktorom sú dôležitými parametrami nielen oneskorenie komunikácie medzi dvomi účastníkmi ale taktiež kolísanie oneskorenia. To má výrazný vplyv najmä na zrozumiteľnosť a plynulosť vnemu. Pri službách nepracujúcich v reálnom čase nie je tento parameter kľúčový z pohľadu kvality prenosu, pretože kolísanie oneskorenia neovplyvní úspešné stiahnutie súboru pri HTTP službe, respektíve FTP službe. Pri týchto službách sú najdôležitejšími parametrami prenosová rýchlosť a celkové oneskorenie spojenia.

⁴ Oneskorenie na TCP vrstve, merané od času poslania segmentu odosielačim zariadením do času príjmu segmentu na TCP vrstve prijímajúcim zariadením

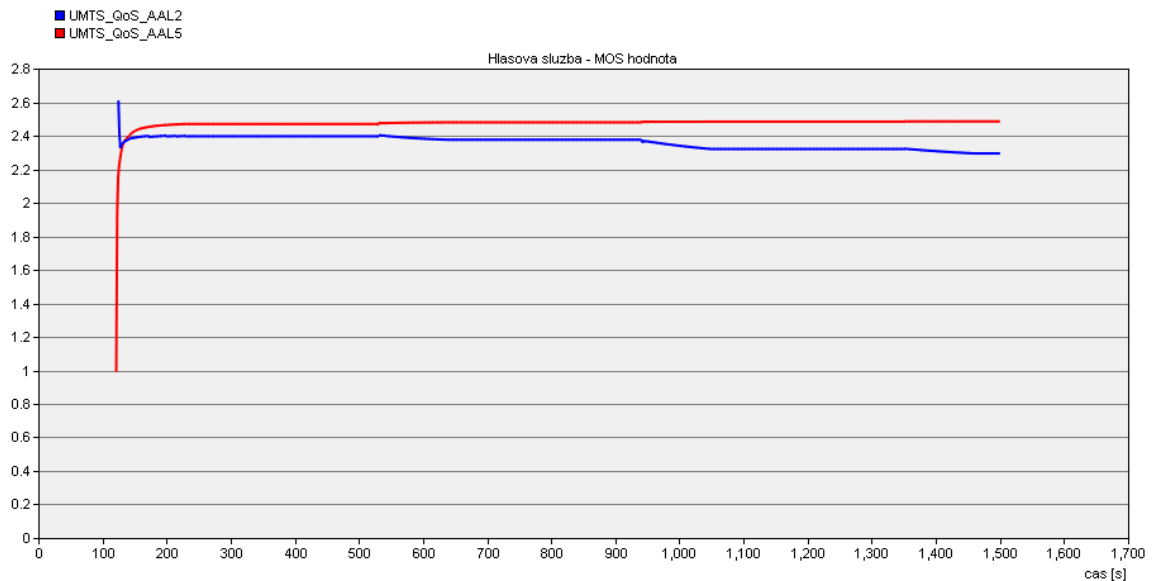
6.2.5 Porovnanie QoS mapovania do ATM adaptačných vrstiev

Pri používaní mapovania QoS parametrov do ATM adaptačných vrstiev sa v UMTS technológii používajú ATM vrstvy AAL2 a AAL5 (viď. 5.2). V rámci porovnania správania sa jednotlivých aplikácií pri mapovaní QoS parametrov bol upravený pôvodný simulačný scenár UMTS_QoS a nastavené mapovanie kvalitatívnych parametrov do AAL2 (viď 6.1.1). Výsledky porovnania sú zobrazené na nasledujúcich charakteristikách.

Obrázok 6.20 zobrazuje oneskorenie hlasovej komunikácie medzi dvojicou koncových užívateľov v globálnom meradle. Z charakteristiky je zrejmé, že pri použití mapovania kvalitatívnych parametrov do ATM adaptačnej vrstvy AAL2 (modrá krivka) vzniká vyššie oneskorenie ako pri mapovaní do adaptačnej vrstvy AAL5 (červená krivka). Toto oneskorenie je v prípade AAL2 až 0,23 sekundy a nenadobúda konštantné hodnoty počas celého prenosu. Hlasová služba je tak pre koncových účastníkov značne degradovaná a nespĺňa požiadavky bezproblémovej komunikácie. I napriek tomu, že v reálnych podmienkach sa adaptačná vrstva AAL2 používa pre služby v reálnom čase s premenlivou prenosovou rýchlosťou a malým oneskorením, teda pre hlasovú komunikáciu a videokonferencie, simulácia v programovom prostredí Opnet Modeler naznačuje výrazne lepšie parametre prenosu a správania sa aplikácií pri použití ATM adaptačnej vrstvy AAL5. Túto skutočnosť dokumentujú i charakteristiky zobrazené na obrázkoch 6.21 a 6.22. Zhoršenie komunikácie je tak pozorovateľné nielen z neakceptovateľného oneskorenia ale i s ním spojeným poklesom číselného vyjadrenia kvality hlasovej komunikácie hodnotou MOS v závislosti na zvyšných službách siete.

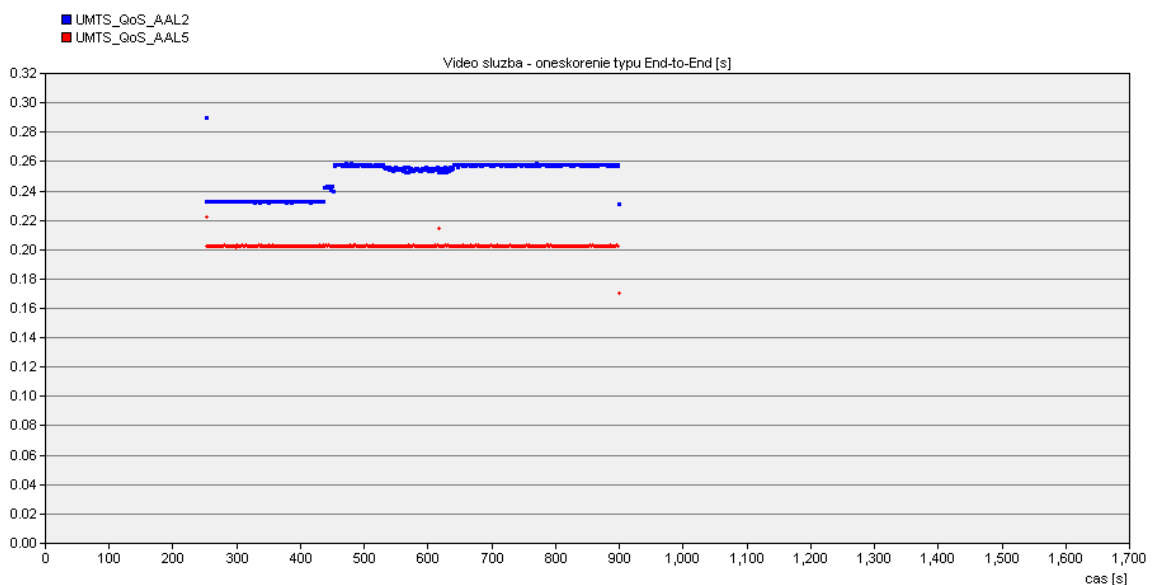


Obr. 6.20: Hlasová služba - oneskorenie typu End-to-End pri použití AAL2/AAL5



Obr. 6.21: Hlasová služba - MOS hotnota pri použití AAL2/AAL5

Podobné charakteristiky ovplyvňované okolitým prenosom vykazuje pre scenár s nastavenou ATM adaptačnou vrstvou AAL2 i služba video komunikácie. Oneskorenie pri inicializácii spojenia dosahuje hodnoty 0,235 sekundy čo predstavuje nárast 0,035 sekundy oproti mapovaniu QoS parametrov do adaptačnej vrstvy AAL5. Výrazné zhoršenie spojenia nastáva v čase 420 sekúnd, teda v čase, keď v spoločnej bunke siete začína komunikácia HTTP služby s HTTP serverom. Z uvedeného je zrejmé, že správne nastavenie AAL vrstiev pre jednotlivé prenosy je nevyhnutné pre korektné fungovanie QoS mechanizmov siete.



Obr. 6.22: Video služba - oneskorenie typu End-to-End pri použití AAL2/AAL5

7 Záver

V 90-tych rokoch 20. storočia nastal prudký nárast vývoja mobilných sietí a to nie len vzhľadom na rozšíriteľnosť z pohľadu pokrytia ale taktiež rozšíriteľnosť z pohľadu ponúkaných služieb. S touto situáciou sa začala vynárať aj problematika kvality služieb pre jednotlivé aplikácie, ktoré bolo nutné riadiť podľa určitej priority. Kvalita ponúkaných služieb sa tak dostala do pozornosti nie len koncových užívateľov mobilných sietí, ktorí majú záujem o čo najkvalitnejšie služby, a často práve tento parameter je rozhodujúcim meradlom pri výbere ponúkaného produktu, ale aj operátorov sietí, ktorí sa na druhej strane snažia o čo najefektívnejšie a najekonomickejšie využitie sieťových zdrojov.

V UMTS sieťach sa používa množstvo mechanizmov na zabezpečenie požadovanej kvality služieb tak ako na úrovni prístupovej siete UTRAN, tak i priamo vnútri UMTS siete, na jednotlivých prepojovacích uzloch. Jeden z kľúčových mechanizmov podieľajúci sa na zabezpečení kvality služieb je kontrola prístupu. Tá má práve za úlohu odpovedať na otázku, či dané účastnícke zariadenie so svojimi požiadavkami na kvalitu služieb môže byť prijaté do siete a teda či je sieť schopná zabezpečiť pre neho dané rádiové zdroje alebo bude prístup zariadenia do siete zamietnutý. V chrbticovej časti siete sa potom o správny prenos paketov podľa dohodnutých požiadaviek starajú najmä mechanizmy podieľajúce sa na správe front a prioritizácie paketov.

Správne fungovanie jednotlivých mechanizmov pre zabezpečenie požadovanej kvality prenosu je však podmienené ich správnym návrhom a plánovaním. Na tento účel sa používajú mnohé simulačné programy, ako napríklad OPNET Modeler. Práve tento nástroj bol použitý v praktickej časti práce pre vytvorenie vlastného užívateľského modelu UMTS siete s implementovanými QoS parametrami. Výsledky simulácie štyroch rôznych scenárov, pričom jeden má implementované parametre QoS a ostatné sú prevádzané len s prednastavenou metódou Best Effort, výrazne hovoria práve v prospech modelu s nastavenou kvalitou služieb QoS. I napriek tomuto zisteniu ale daná navrhnutá sieť neposkytovala uspokojivé výsledky z pohľadu vnímanej kvality komunikácie koncovým užívateľom siete, čo dokumentuje najmä hodnota MOS hlasovej služby na úrovni 2,5 a oneskorenie 0,18 sekundy predstavujúce hornú hranicu akceptovateľnú pre možnosti hovoru. Neuspokojivé hodnoty vznikajú ako dôsledok paketového prenosu, keď na celkovom oneskorení sa podieľajú prakticky všetky uzly siete. Klasické riešenie UMTS siete je tak vhodné najmä na služby neprebiehajúce v reálnom čase, kde otázka oneskorenia a jeho kolísania nehrá podstatnú úlohu a omnoho väčší dôraz sa kladie na správny a kompletný príjem dát. Takýmito službami sú najmä FTP prenos a prehliadanie internetu pomocou protokolu HTTP.

V prípade služieb prebiehajúcich v reálnom čase vzniká riešenie pre dosiahnutie lepších parametrov prenosu a v konečnom dôsledku i podstatne kvalitnejšieho užívateľského vnemu v podobe sietí 3,5G, ktoré predstavujú nadstavbu súčasných 3G sietí. Systém HSPA, obsahujúci HSDPA a HSUPA, teda systémy poskytujúce niekoľkonásobne vyššie dátové rýchlosti v porovnaní s UMTS tak ako v smere downlink tak i v smere uplink, predstavuje veľmi blízku a optimistickú budúcnosť v dynamicky sa rozvíjajúcom odvetví mobilných komunikácií.

8 Použitá literatura

- [1] BANNISTER J., MATHER P., COOPE S., *Convergence Technologies for 3G Networks IP, UMTS, EGPRS and ATM*. John Wiley and Sons, Ltd, 2004, 650 strán, ISBN 0-470-86091-X
- [2] FABRICIUS M., *Správa rádiových zdrojů v sítích CDMA2000 a UMTS*. Vysoké Učení Technické v Brně, 2007, 74 strán, Bakalářská práce
- [3] GARCÍA A.B., ALVAREZ-CAMPANA M., VÁZQUEZ E., BERROCAL J., *Quality of Service Support in UMTS Terrestrial Radio Access Network*. ETSI Telecomunicación, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain, 2004, 15 strán
- [4] HOLMA H., TOSKALA A., *WCDMA for UMTS – Radio Access For Third Generation Mobile Communications*. John Wiley and Sons, Ltd, 2004, 499 strán, ISBN 0-470-87096-6
- [5] KOVVURI S., PANDEY V., GHOSAL D., MUKHERJEE B., SARKAR D., *A Call-Admission Control (CAC) Algorithm for Providing Guaranteed QoS in Cellular Networks*. International Journal of Wireless Information Networks, 2003, 13 strán
- [6] KUMAR S., HUANG M., *Quality of Service in UMTS Wireless Networks*, Wiley Periodicals, Inc. 2002, 18 strán
- [7] LAIHO J., WACKER A., NOVOSAD T., *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. John Wiley and Sons, Ltd, 2006, 629 strán, ISBN-13 978-0-470-01575-9
- [8] MARCHESE M., *QoS Over Heterogenous Networks*. John Wiley and Sons, Ltd, 2007, 307 strán, ISBN 978-0-470-01752-4
- [9] Nortel Networks, *Benefits of Quality of Service (QoS) in 3G wireless Internet*, Nortel Networks, 2001, 16 strán
- [10] Opnet Technologies, *UMTS Model User Guide*, Opnet Technologies, 2005, 64 strán
- [11] PARK K.I., *QoS in Packet Networks*, Springer Science + Business Media, Inc, 2005, 243 strán, ISBN 0-387-23389-X
- [12] PÉREZ-ROMERO J., SALLENTO O., AGUSTÍ R., DÍAZ-GUERRA M. A., *Radio Resource Management Strategies In UMTS*. John Wiley and Sons, Ltd, 2005, 119-173 strana, ISBN 0-470-02277-9
- [13] RICHTR T. *Technologie pro mobilní komunikaci*, [online]. 19.1.2002 [cit. 6.4.2009]. Dostupné z internetu: <<http://www.tomas.richtr.cz/mobil/index.htm>>

- [14] S. BAUDET, C. BESSET-BATHIAS, P. FRENE, N. GIROUX,. *QoS Implementation in UMTS Networks*. Alcatel Telecommunications Review, 2001, 9 strán
- [15] SOLDANI D., LI M., CUNY R., *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. . John Wiley and Sons, Ltd, 2006, 459 strán, ISBN-13 978-0-01639-8
- [16] STIJN N. P. VAN CAUWENBERGE, *Study of soft handover in UMTS*, Technical University of Denmark & University of Gent, 2003, 143 strán
- [17] UNUTH N. *Mean Opinion Score (MOS) – A Measure Of Voice Quality*, [online]. [cit. 29.4.2009]. Dostupné z internetu: <http://voip.about.com/od/voipbasics/a/MOS.htm>

Zoznam skratiek

AAL	ATM Adaptation Layer
AC	Admission Control
AMPS	American Mobile Phone System
ARQ	Automatic Repeat Request
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Centre
BE	Best Effort
CA	Call Admission
CAC	Call Admission Control
CB – WFQ	Class Based – Weighted Fair Queuing
CN	Core Network
CS	Circuit Switching
EIR	Equipment Identity Register
FACH	Forward Access Channel
FIFO	First In, First Out
FDD	Frequency Division Duplex
FQ	Fair Queuing
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GSM	Global System for Mobile communication
HLR	Home Location Register
HSPA	High-Speed Packet Access
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IMT – 2 000	International Mobile Telecommunications-2000
ITU	International Telecommunication Union
MS	Mobile Station
MSC	Mobile service Switching Centre
MSS	Mobile Satellite Service
NMT	Nordic Mobile Telephone
PDP	Packet Data Protocol
PCS 1 900	Personal Communications Services 1 900
PQ	Priority Queuing
PS	Packet Switching

QoS	Quality of Service
RED	Random Early Detection
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRM	Radio Resource Management
RRP	Radio Request Priority
SGSN	Serving GPRS Support Node
SMS	Short Message Service
TDD	Time Division Duplex
TE	Terminal Equipment
ToS	Type of Service
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	UMTS Terrestrial Access Network
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wideband CDMA
WFQ	Weighted Fair Queuing
WRED	Weighted Random Early Detection
WRR	Weighted Round Robin