

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

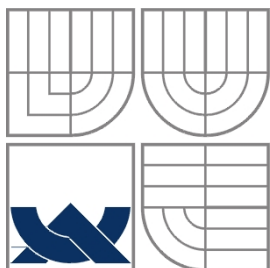
SIMULACE SÍTÍ UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER A
FUNGOVÁNÍ SKUTEČNÉ SÍTĚ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

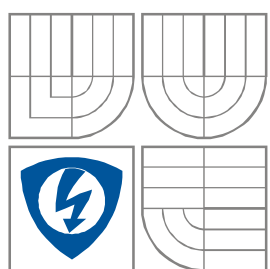
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETER KUCHÁR

BRNO 2009



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

SIMULACE UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER A FUNGOVÁNÍ SKUTEČNÉ SÍTE

**SIMULATION OF UMTS IN OPNET MODELER ENVIROMENT AND OF REAL NETWORK
OPERATION**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

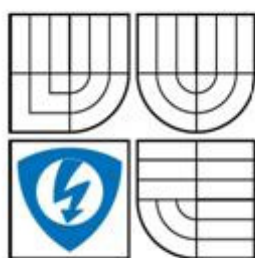
PETER KUCHAR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÍT NOVOTNÝ, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

Student: Peter Kuchár

ID: 72944

Ročník: 3

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Simulace sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler a fungování skutečné sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se se simulačním prostředím Opnet Modeler, zaměřte se na modelování paketové části sítí UMTS. Rozeberte parametry modelů přístupové části ovlivňující správu přidělování rádiových zdrojů. Porovnejte úroveň specifikace modelu uzlu Node-B v současné verzi Opnet Modeler se specifikacemi vlastností a funkcionalit skutečného uzlu Node B definovaných sdružením 3GPP. Na vybraném modelu sítě UMTS simulujte základní scénáře realizace služeb citlivých na kvalitativní parametry (VoIP či video) při datovém provozu na pozadí a vyhodnoťte výsledné kvalitativní parametry. V rámci možností ústavu realizujte analýzu skutečného provozu v síti UMTS výsledky porovnejte. Na základě výsledků navrhnete laboratorní úlohu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] CASTRO, J.P. All IP in 3G CDMA Networks. John Wiley & Sons, ISBN 0-470-85322-0, UK, 2004
- [2] OPNET TECHNOLOGIES Opnet Modeler - FAQ. www.opnet.com, 2008
- [3] OPNET TECHNOLOGIES Opnet Modeler - User Forums. www.opnet.com, 2008

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 2.6.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Teoretický úvod obsahuje historický prehľad mobilných sietí. V druhej časti je podrobne popísaná štruktúra siete UMTS a následne rozpracovanie teoretických okruhov zadania. Ako prvý je rozpracovaný popis a charakteristika uzlov siete UMTS v prostredí Opnet Modeler 14.5. V štvrtej kapitole je porovnaná špecifikácia uzlu Node-B v Opnet Modeleri 14.5 a podľa združenia 3GPP. Praktická časť obsahuje dve hlavné časti a to zhotovenie simulácie v programovom prostredí a meranie v reálnej sieti. Zhotovenie simulovanej siete je podrobne popísané a následne sú uvedené dosiahnuté výsledky. Simulácia bola zameraná na službu VoIP citlivú na kvalitatívne parametre siete a jej ovplyvnenie dátovými službami na pozadí. Meranie v reálnej sieti malo rovnaké zameranie, aby ich bolo možné porovnať. Merania boli uskutočnené v sieťach rôznych operátorov a s podporou rôznych technológií pomocou programu IxChariot. Výsledkom porovnania oboch meraní je vyhlásenie dosiahnutých údajov za porovnateľné s prihliadnutím na fakt, že simulačné prostredie neobsahuje všetky vplyvy reálneho prostredia.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: mobilná sieť, UMTS, Opnet Modeler, VoIP, reálna sieť, porovnanie výsledku, IxChariot.

ABSTRACT

This bachelor thesis is devoted to mobile networks and specially to UMTS. First part contains theoretical information about mobile networks, history and present of mobile communication. It continues with comparasion between Node-B specification in the Opnet Modeler 14.5 and real node by 3GPP international community. Second part describes works on simulation and results of measured parameters. Simulation is focused on sensitive services like a VoIP or video. In simulation voice service is used VoIP and few data services running in background. Measurement in real network was executed in several networks which belong to different providers and supports different techniques. In real networks IxChariot was used. IxChariot is the industry's leading test tool to predict device and system performance under realistic load conditions. Real network results and results from Opnet Modeler 14.5 simulation are practically equal. Aplication of Hamachi in real network did not have influence on the results measured.

KEYWORDS: mobile network, UMTS, Opnet Modeler, VoIP, real network, result comparasion, IxChariot.

KUCHÁR, P. *Simulace sítě UMTS v prostředí Opnet Modeler a fungování skutečné sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 53 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma SIMULACE UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER A FUNGOVÁNÍ SKUTEČNÉ SÍTE jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD	7
1. HISTÓRIA MOBILNÝCH SIETÍ	8
2. POPIS SIETE UMTS	11
2.1 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)	12
2.2 HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)	12
2.3 UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)	12
2.4 CN (Chrbtová sieť).	13
2.5 Triedy QoS v sieti UMTS.	13
3. MODELY UZLOV UMTS V OPNET MODELERI 14.5	15
3.1 Obmedzenia modelu UMTS.	15
3.2 Model RNC (Kontrola rádiovkej siete).....	16
3.3 Manažment mobility a sekcioví manažment.	19
3.4 Manažér rádiových zdrojov.....	21
3.5 Node-B (Prístupový bod).	23
4. ŠPECIFIKÁCIA UZLU NODE-B V OPNET MODELERI A PODĽA 3GPP	25
5. SIMULÁCIA UMTS V OPNET MODELER 14.5	28
5.1 Vytvorenie simulačného scenáru.	28
5.2 Vytvorenie nového projektu a výber prostredia.	28
5.3 Výber potrebných objektov a ich prepojenie.	29
5.4 Nastavenie vlastností Application config.....	29
5.5 Nastavenie vlastností Profile config.....	29
5.6 Nastavenie jednotlivých uzlov.	30
5.7 Nastavenie sledovaných vlastností siete.	31
5.8 Spustenie simulácie a zobrazenie výsledkov.	31
6. VLASTNÁ SIMULÁCIA A JEJ VÝSLEDKY	32
7. MERANIE V REÁLNEJ SIETI A JEHO VÝSLEDKY	39
7.1 IxChariot – aplikácia na testovanie sietí	39
7.2 Výsledky meraní v reálnych sieťach.....	41
7.3 Ovplyvnenie výsledkov použitou metódou.....	47
8. POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIE A MERANÍ V REÁLNEJ SIETI	48
9. ZÁVER.....	49
POUŽITÁ LITERATÚRA.....	50
ZOZNAM SKRATIEK	51
ZOZNAM PRÍLOH	52

ÚVOD

Táto bakalárska práca sa venuje problematike UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), ktoré je súčasťou skupiny sietí 3.generácie. UMTS je v dnešnej dobe najlepším riešením, ktoré splňuje nároky na mobilitu a prenosovú rýchlosť. Väčšina produktov mobilného dátového pripojenia (mobilného internetu) je realizovaná práve prostredníctvom UMTS. Z dôvodu vysokých nákladov na budovanie siete sú pokryté signálom prevažne len veľké mestá.

Hlavne bude venovaná modelu siete v prostredí Opnet Modeler. Podrobne budú rozobraté modely prvkov rádiovkej prístupovej siete, ktoré ovplyvňujú pridelovanie rádiových zdrojov. Porovnaná úroveň špecifikácie modelu uzlu Node-B v programe Opnet Modeler 14.5 so špecifikáciou reálneho uzlu podľa združenia 3GPP. V praktickej časti popis vytvorenia simulácie, ktorá bude zameraná na základné scenáre realizácie služieb citlivých na kvalitatívne parametre (VoIP, Video) pri dátovom prenose na pozadí.

Projekt obsahuje dve základné časti a to teoretickú a praktickú. Teoretická časť zahŕňa stručný prehľad vývoja mobilných sietí, kde je podrobnejšie popísaná varianta UMTS. Nasleduje popis prvkov rádiovkej prístupovej siete a ich funkčnosti, ktorá je popísaná v dokumentácii k programu Opnet Modeler [5]. Ďalej porovnanie štandardov týkajúcich sa Node-B obsiahnutých v Opnet Modeleri 14.5 oproti súčasnému stavu platných noriem schvaľovaných združením 3GPP. V tejto časti je spomenuté aj ako sa prejavuje absencia implementácie niektorých štandardov.

Praktická časť obsahuje popis prostredia a postup pri realizácii simulácie v prostredí Opnet Modeler 14.5 . V nasledujúcej podkapitole sú uvedené konkrétne služby a činnosti, ktoré sú obsiahnuté danou simuláciou. Na záver uvedenie vyhodnotenia výsledkov tejto simulácie a ich porovnanie pri nastavení rôznych parametrov siete. Porovnanie simulovaných výsledkov s výsledkami získanými v skutočnej sieti bude uvedené v kapitole, ktorá bude nasledovať po kapitole merania v reálnej sieti. V tejto kapitole bude stručný popis použitého softwaru a výsledné charakteristiky meraných služieb.

Ako sa dá predpokladať model UMTS obsiahnutý v programe Opnet Modeler 14.5 nebude obsahovať všetky súčasti a procesy, ktoré sú štandardizované. V simulácii sú obsiahnuté najbežnejšie služby bežiace na pozadí v kombinácii so službou VoIP. Táto služba je citlivá na kvalitatívne parametre siete. Testovací software IxChariot umožňuje zobrazit' pre hlasovú službu VoIP aj parameter MOS .

1. HISTÓRIA MOBILNÝCH SIETÍ

1.generácia (analogová) bola budovaná od roku 1979 a v roku 1991 bola spustená aj na území vtedajšej ČSFR. Bola určená len na prenosu hlasu a mala viacero nedostatkov.

- Nízka kvalita prenosu
- Malé zabezpečenie proti odpočúvaniu a zneužitiu
- Neefektívne využitie prideleného frekvenčného pásma
- Z dôvodu nezlučiteľnosti systémov nie je možný medzinárodný roaming (voľný medzinárodný pohyb účastníka)

Do tejto generácie sa zahrňuje viacero systémov ako NMP 450, AMPS, TACS, C-NET 450...

NMP 450: každé pásmo je rozdelené na 180 kanálov s šírkou kanálu 25kHz

- Vysielacie pásmo základňovej stanice je 463 – 467,5 MHz
- Vysielacie pásmo mobilnej stanice je 453 – 457,5 MHz

2.generácia (digitálna) Do systémov druhej generácie patria digitálne celulárne mobilné telefóny, ktoré majú v porovnaní so systémami prvej generácie mnohé výhody, plynúce hlavne z použitia časového multiplexu TDMA a používaných metód digitálneho spracovania signálov. Medzi hlavné výhody určite patria:

- Efektívnejšie využitie pridelených frekvenčných pásiem a z toho plynúci vyššia provozná kapacita siete
- Vyššia kvalita pripojenia
- Vysoká úroveň zabezpečenia
- Menšie rozmery, hmotnosť a energetická náročnosť mobilných staníc
- Viacej ponúkaných služieb, ktoré okrem prenosu hovorových kanálov umožňujú prenos textových správ (SMS), dát apod.
- Možnosť jednoduchého zavedenia medzinárodného roamingu v rámci štátov používajúcich jednotný systém
- Kompatibilita s fixnými sieťami ISDN a aj s väčšinou ostatných perspektívnych komunikačných systémov

Najvýznamnejším zástupcom sietí 2.generácie je GSM. V Európe sa od začiatku deväťdesiatych rokov uplatňuje globálny systém pre mobilnú komunikáciu GSM, pracujúci v okolí frekvencie 900 MHz. Neskôr sa kvôli zvýšeniu kapacity siete pridala varianta pracujúca na frekvencii 1800MHz. V USA sa používa GSM pracujúce v kmitočtovom pásme 1900MHz.

GSM 900: šírka pásma 25MHz je rozdelená do 124 kanálov o šírke 200kHz

- uplink 890 – 915 MHz
- downlink 935 – 960 MHz

GSM 1800: má 374 kanálov o šírke 200kHz

- uplink 1710 – 1785 MHz
- downlink 1805 – 1880 MHz

GSM 1900: má 299 kanálov o šírke 200kHz

- uplink 1850 – 1910 MHz
- downlink 1930 – 1990 MHz

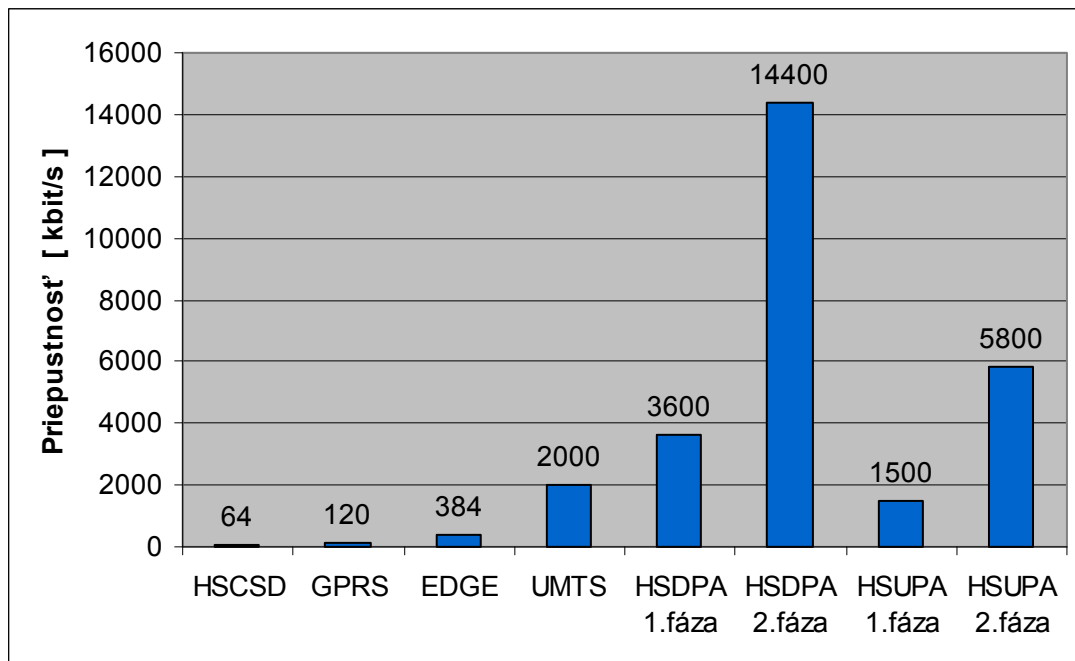
Ako odpoveď na požiadavku prenosu dát vznikli nasledujúce techniky prenosu.

GPRS (General Packet Radio System) Ide o technológiu založenú na paketovo orientovanom prenose dát. Prenosové kapacity nie sú trvalo vyhradzované a sú k dispozícii všetkým užívateľom zároveň. Dokáže dosiahnuť užitočnú rýchlosť až 22,8 kbit/s na jeden slot. GPRS umožňuje platiť len za prenesené dáta a nie za čas pripojenia.

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) využíva modulačnú techniku 8PSK čo zvýši maximálnu prenosovú rýchlosť až na 384kbit/s. to však platí pri využití všetkých osem slotov a dobrých podmienkach na šírenie signálu.

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) jedná sa o prenos dát s prepojovaním okruhov. Na jednom časovom slote sú dáta prenášané rýchlosťou 9,6kbit/s, ale zefektívnením zabezpečenia a úsporou opravných bitov dosiahneme 14,4 kbit/s.

Nasleduje 3. generácia (UMTS), ktorú si priblížime v kapitole dva.



Obr. 1.1: Vývoj rýchlostí

2. POPIS SIETE UMTS

Sieť UMTS môžeme rozdeliť na dve základné časti a to UTRAN a CN. Štruktúra UMTS sa líši od štruktúry GSM v prístupovej časti a to uzlami Node-B a RNC, chrbtová sieť (CN) je takmer rovnaká pre obe technológie. UMTS využíva signálové spektrum na úrovniach:

- jedno párové pásmo 1920 – 1980 MHz + 2110 - 2170 MHz
- jedno nepárové pásmo 1910 – 1920 MHz + 2010 - 2025 MHz

UMTS ako technológia 3.generácie založená na širokopásmovej CDMA (W-CDMA) alebo TD/CDMA, využíva pre jeden obojsmerný kanál v párovom pásme šírku 10 MHz a v nepárovom pásme šírku 5 MHz. V nepárovom pásme sú uplink a downlink prenášané na jednej frekvencii ale delené časom. S kanálom širokým 5MHz dokáže UMTS dosiahnuť rýchlosť až 2Mbit/s. Prehľad dosahovaných rýchlostí rôznymi technológiami je najlepšie si ukázať na obrázku, ktorý je uvedený v predchádzajúcej kapitole. Maximálnu rýchlosť je dosiahnuteľná len teoreticky a je ovplyvnená rôznymi faktormi:

- vidiecke prostredie: minimálne 144 kbit/s (snaha dosiahnuť 384kbit/s)
Maximálna rýchlosť stanice: 500km/h
- mestské prostredie: minimálne 384 kbit/s (snaha dosiahnuť 512 kbit/s)
Maximálna rýchlosť: 120km/h
- Interiér/Blízke okolie: minimálne 2 Mbit/s.
Maximálna rýchlosť 10km/h

V dnešnej dobe sa dosahovaná rýchlosť ešte zvýšila zásluhou vylepšení UMTS technológie. Najvýraznejším je vysoko rýchlostný paketový prístup (HSPA), ktorý má dátové prenosy výrazne zrýchliť. Výrobcovia si od tejto technológie sľubujú pomerne veľa a operátori ešte viac. V prvej fáze neboli dosahované rýchlosti vôbec prevratné. Vysoko rýchlostný zostupný paketový prístup (HSDPA) je technológia, ktorá má priniesť rýchlejšie dáta v smere k užívateľovi.

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

Odstránením problematického riadenia výkonu sa rýchlosť downlinku zvýšila na reálnych 1,8 Mbit/s. Pre účastníka siete, ktorý je 10 metrov od základňovej stanice, totiž stačí výrazne nižší vysielací výkon ako pre účastníka vzdialeného 1,5 kilometra. U hovorov je to výborná vec, ale ukázalo sa, že pre paketové dáta to nebol príliš šťastný nápad. HSDPA pre prenos dát ruší riadenie výkonu stanice a využíva maximálny dostupný výkon za všetkých okolností.

Mobilné terminály zatiaľ budú rýchlosť HSDPA obmedzovať na 3,6 Mbit/s. V druhej fáze má HSDPA dosiahnuť do konca na rýchlosť 14,4 Mbit/s. Výrobcovia infraštruktúry predpokladajú, že prvé terminály schopné zvládnuť túto rýchlosť budú k dispozícii v najbližších rokoch.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)

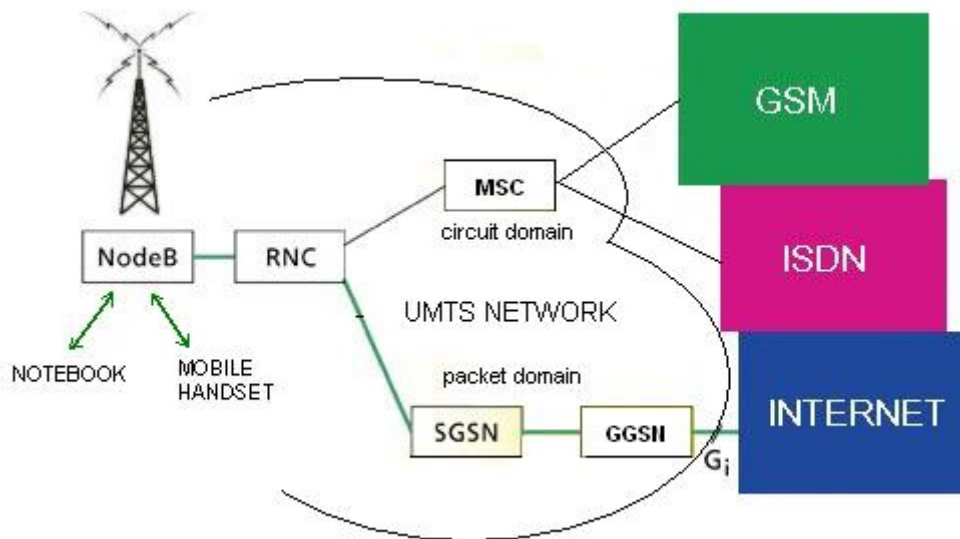
Zvyšovanie rýchlosti sa nebude týkať iba sťahovania, ale aj odosielania dát (uplink). V prvej fáze zostane nezmenený a bude disponovať rýchlosťou uplinku 384 kbit/s, a to aj napriek tomu, že sa downlink zrýchlil. K prvej zmene uplinku má dôjsť až, keď budú k dispozícii terminály podporujúce plné HSDPA fáze dva a HSUPA fáze jedna s rýchlosťou 1,5 Mbit/s.

HSUPA druhej fázy, ktorá má priniesť rýchlosti uplinku až okolo 5,8 Mbit/s je zatiaľ ale príliš vzdialená. Výrobcovia sa ku konkrétnemu dátumu radšej nevyjadrujú.

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) je sieť rádiového prístupu pre UMTS. UTRAN predstavuje tú časť siete, ktorá umožňuje užívateľom mobilný prístup ku službám, ktoré sú poskytované chrbtovou sieťou CN pomocou rádiového prostredia. V tejto súvislosti plní dve hlavné funkcie: sprostredkovanie rádiového prenosu a riadenie a pridelovanie rádiových kanálov. Pre splnenie týchto funkcií sú definované dve základné jednotky:

- **Node B:** Jedná sa o základňovú stanicu systému UMTS (obdoba BTS v systéme GSM)
- **Radio Network Controller:** Riadiaca jednotka rádiovkej siete (obdoba BSC v systéme GSM)



Obr. 2.1: Štruktúra UMTS

CN (Chrbtová sieť).

Podrobnejšie si rozoberieme len paketovo spínanú časť CN, pretože okruhovo spínaná časť je rovnaká ako u GSM. Pre podporu paketovo orientovaného prenosu sa museli pridať uzly na podporu GPRS. Tieto uzly sú dvoch druhov - SGSN a GGSN. SGSN plní funkciu manažmentu mobility, overovanie totožnosti, šifrovania a tarifkácie. GGSN poskytuje rozhranie medzi GPRS sieťou a externými sieťami pracujúcimi podľa štandardu IP alebo X.25, je akousi bránou medzi GSM a vonkajšími sieťami.

Triedy QoS v sieti UMTS.

Ako odpoveď na pribúdanie podporovaných služieb, ktoré majú určité požiadavky na prenosový systém od odosielateľa až k príjmateľovi, vzniklo rozdelenie do tried. Každá trieda má osobitné vlastnosti (Maximálna bitová rýchlosť, garantovaná bitová rýchlosť, prenosové opozdenie, zaobchádzanie s prioritou...). Všetky vlastnosti sú podrobne opísane v publikácii Radio resource management strategies in UMTS [2].

Základné triedy QoS v UMTS:

1. konverzačná trieda
2. streamovacia trieda
3. interaktívna trieda
4. trieda služieb na pozadí

Najväčším rozdielom medzi týmito triedami je v citlivosti na oneskorenie. Najviac citlivá na oneskorenie je trieda konverzačná a najmenej služby na pozadí.

Konverzačná a streamovacia trieda sa najčastejšie používajú na prenášanie dát v reálnom čase. Najväčším zástupcom je prenos hlasu a videa, ale s príchodom Internetu a multimédií mnoho nových aplikácií vyžaduje tieto triedy. Menšie nároky na oneskorenie streamovacej triedy sú výsledkom iba jednosmerného prenosu dát (hlasu, videa...).

Interaktívna trieda sa používa pre aplikácie, ktoré vyžadujú potvrdenie alebo odpoveď od príjemateľa dát. Najčastejšie sa jedná o komunikáciu človek – vzdialené zariadenie: prehliadanie internetu, odosielanie emailu, prístup k serveru. Služby na pozadí majú najnižšiu prioritu, preto využívajú prenosové pásmo iba ak ho nepotrebujú interaktívne aplikácie. Medzi služby na pozadí patrí sťahovanie dát, doručovanie SMS a emailov.

3. MODELY UZLOV UMTS V OPNET MODELERI 14.5

Model UMTS dovoľuje vyhodnocovať end-to-end službu, priepustnosť, rýchlosť odpojenia, end-to-end oneskorenie a kolísanie oneskorenia v rádiovkej prístupovej sieti (RAN) a základnej paketovej sieti (CN). To môže byť použité na hodnotenie realizovateľnosti rôznych kombinácií služieb, ktoré poskytujú QoS. Tento model je dostupný ako časť špecializovanej knižnice.

3.1 Obmedzenia modelu UMTS.

UMTS využíva prístupovú schému Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA). W-CDMA môže využívať dva druhy duplexu: Frequency Division Duplex (FDD) a Time Division Duplex (TDD), ktorý nie je podporovaný v modeli dostupnom v Opnet modeli. V FDD móde je pre prenos uplink a downlink použité rozdielne frekvenčné pásmo. Opnet nepodporuje okruhovo prepínanú sieť.

Limity modelu:

Nasledujúce súčasti UMTS protokolu nie sú namodelované alebo len obmedzené:

- **IPv6 cez UMTS.** Tento typ konfigurácie nie je podporovaný.
- **Synchronizácia po zapnutí (power-on).** Rozmanitá signalizácia, ku ktorej prichádza keď užívateľ zapne stanicu nie je namodelovaná, s výnimkou GRPS attach procedúry.
- **PS zriadenie signalizačného spojenia.** Pretože PS (paket-switched) signalizačné spojenie ovplyvňuje iba čas oneskorenia (zriadenie a znovu zriadenie PS signalizačného spojenia), nie je modelované. Model predpokladá, že PS signalizačné spojenie je už vybudované, keď užívateľ zapne zariadenie a toto spojenie je udržiavané počas celej simulácie.
- **GMM-Idle mód.** Iba GMM-Connected (pripojený) mód je modelovaný.
- **GPRS detach (rozpojenie).** Predpokladá sa, že UE zostáva pripojené počas celej simulácie.

- **PDP kontext deaktivácia a reaktivácia.** Počas simulácie prichádza k aktivácii PDP kontextu iba raz pre každý QoS profil. PDP kontext nie je deaktivovaný a využitý znova, keď UE požaduje priradiť QoS profil k PDP.
- **Vyjednávanie o požadovanom QoS.** SGSN model buď poskytne presne vyžiadané QoS od UE alebo odmietne požiadavku.
- **Chýba podpora pre paralelne sa šíriace kódy na dedikovaných kanáloch.** Dedikované kanály nepodporujú paralelné kódy. Toto limituje maximálnu dátovú rýchlosť pre jeden kanál.
- **CPCH,PCPCH.** Bežný paketový kanál (CPCH) a fyzicky bežný paketový kanál (PCPCH) nie sú modelované.
- **Systémové informácie, rozdelenie buniek a PLMN** nie sú namodelované.
- **Prednostné mobilné pripojenie.** V štartovacom čase model pripojí každé UE do najbližšieho Node-B (zistený na základe výkonových strát). UE začne monitorovať svoju polohu až po pripojení.
- **Spojenie RNC a SGSN.** RNC musí byť priamo spojené so svojím SGSN cez ATM, Ethernet alebo PPP linku. Model nepodporuje routre alebo switche na ceste medzi RNC a SGSN. Všetky SGSN sú schopné obslúžiť RNC, ktoré je priamo pripojené. (konfigurácia liniek medzi RNC a SGSN bezprostredne konfiguruje SGSN spojovaciu oblasť). Neexistuje presná signalizácia medzi RNC a jeho SGSN pre odhalenie obsluhujúceho SGSN.
- **Inter-RNC a inter-SGSN handover.** UE handover medzi jednotlivými RNC a SGSN nie je podporovaný.
- **Handover v FACH/RACH.** Nie je podporovaný handover pre UE využívajúce bežné kanály FACH/RACH (to je, keď sa UE nachádza v CELL_FACH stave)

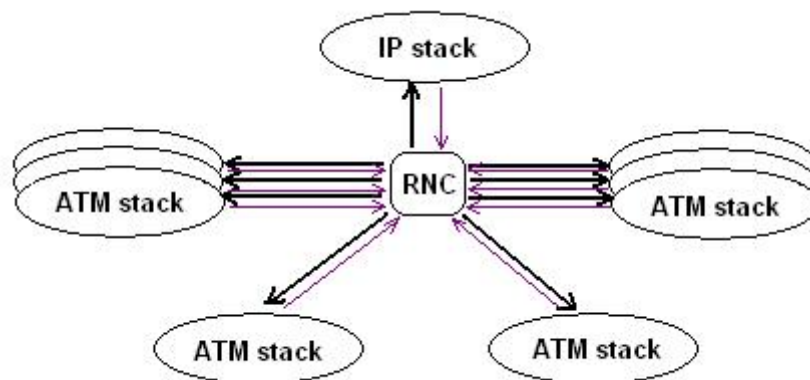
3.2 Model RNC (Kontrola rádiovkej siete).

RNC spravuje rádiové zdroje všetkých účastníckych zariadení, ktoré sú pripojené na všetky Node-B obsluhované danou RNC. RNC plní tieto správcové úlohy:

- koordinuje pripojovací kontrolný proces zriaďovania a rušenia RABs pre UEs požadujúcich služby rôznych tried QoS.
- Spravuje handover UE pri prechode medzi Node-B alebo jej bunkami

- Udržiava vo vyrovnávacej pamäti pakety určené pre UE využívajúce QoS
- Komunikácia s SGSN dovoľujúca SGSN poslať a prijať dáta z alebo od UE
- Poskytuje podobné úlohy ako rovný s RLC a MAC vrstvami obsluhovaného UE
- Monitoruje aktivitu na zriadenom rádiovom spojení a v prípade nečinnosti ho zruší

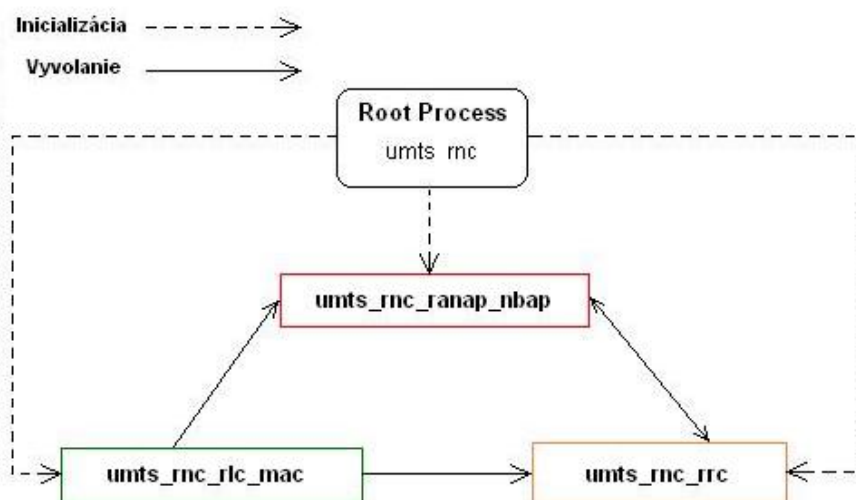
RNC Node model pozostáva z “RNC Managera” a troch detských procesov, ktoré vykonávajú funkčnosť RNC. RNC Manager má 9 ATM alebo IP porty, na jeden je pripojené SGSN a na zvyšných 8 môžu byť pripojené Node-B typu ATM alebo IP. Proces model RNC dokáže rozhodnúť, ktorý typ node je na druhom konci linky. RNC umožňuje prepojiť ľubovoľné porty medzi sebou či už Node-B alebo SGSN. Maximálny počet podporovaných Node-B môžeme na výšť pridaním ďalších ATM alebo IP portov do štruktúry node (uzlu). Model RNC obsahuje 4 základné procesné modely: umts_rnc (RNC Manager), umts_rnc_rlc_mac, umts_rnc_ranap_nbap a umts_rnc_rrc.



Obr. 3.1: Model uzlu RNC

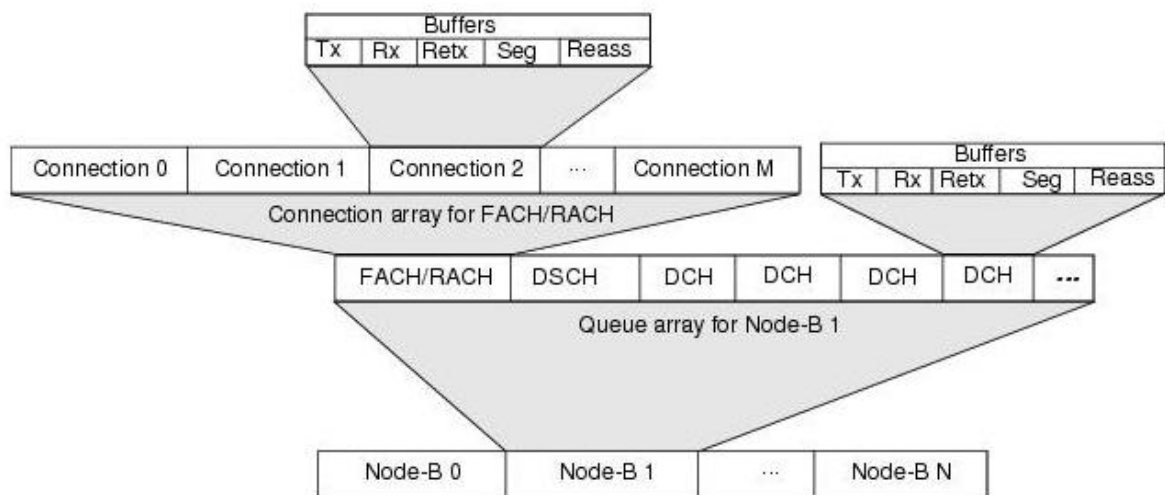
Špecifikácia:

- **umts_rnc_rlc_mac** : tento proces implementuje Radio Link Control (RLC)/ Medium Access Control (MAC) funkcie.
- **umts_rnc_ranap_nbap** tento proces ošetruje signalizáciu s Node B Aplikačnou časťou (NBAP) a signalizáciu SGSN s rádiovou prístupovou sieťou aplikačnej časti (RANAP)
- **umts_rnc_rrc** obsluhuje inicializáciu a signalizáciu medzi UE a procedúrami rádiovkej kontroly zdrojov (RRC), zahŕňa kontrolu prístupu, handover a procedúry súvisiace s mobilitou.
- **umts_rnc_rlc_mac** proces priama stream/remote prerušenia, ktoré prichádzajú do RNC modulu. Raz vytvorený je zodpovedný za primerané vyvolanie ostatných pod procesov. Spravuje frontovacie polia, každé slúži jedinečnému účelu: prenos, príjem, preposielanie, segmentácia a nadviazanie spojenia. Každá pozícia v poli reprezentuje skupinu vyrovnávacích pamätí, ktoré sú priradené určitému kanálu. Niektoré z týchto kanálov sú priraďované a uvoľňované dynamicky počas simulácie pokiaľ ostatné sú pevne priradené. RNC navrhnuté s rovnakým počtom miest v poli pre každý Node-B, ktorý obsluhuje. Štruktúra frontových polí pre Node-B je zobrazená na obrázku.



Obr. 3.2: Základné procesy v RNC

Aktívne spojenia pre FACH/RACH a DSCH kanály sú uchovávané v dvoch rôznych poliach. Po spustení simulácie RNC vyhradí slot 0 pre FACH/RACH a slot 1 pre DSCH, obidva ukazujú na pridelené spojovacie polia. Po prihlásení UE cez GPRS, RNC zriadi signalizáciu DCH pre každé UE. Keď RNC vytvorí DCH prideli slot v poli a v sekcii, ktorú rezervovalo pre Node-B obsluhujúci dané UE. Ako simulácia pokračuje a ak UE pošle požiadavku na službu DCH RAB, RNC vytvorí kanál pre nové RAB, ktoré nebeží cez bežný kanál. RNC tiež navrhne nevyužitú sloty vo frontovom poli aby obslúžili novo zriadené RAB pre UE. Ak novo zriadené RAB beží cez bežný alebo zdieľaný kanál je pridelený nový slot.



Obr. 3.3: Komunikačné kanály

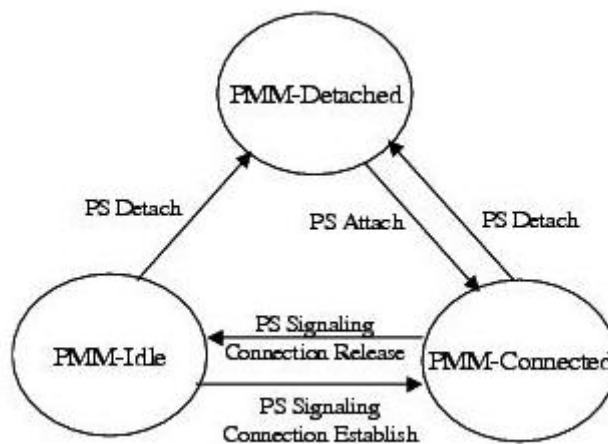
3.3 Manažment mobility a sekcioví manažment.

Nasledujúci [\(Obr.3.4\)](#) ukazuje Packet Mobility Management (PMM) určený iba pre UMTS. Tieto funkcie sú ovládané v GMM vrstve UE and 3G-SGSN. Mobilná stanica nemôže použiť služby GPRS pred registráciou v GPRS sieti. Mobilná stanica je v stave Packet Mobility Management Detached (PMM-Detached) ak nie je registrovaná v GPRS sieti ako zobrazuje obrázok. V tomto stave, nie je komunikácia medzi UE a 3G-SGSN. 3G-SGSN nemôže dosiahnuť UE, pretože UE nemá platnú pozíciu alebo smerovacie informácie pre UE. UE uskutoční svoju lokalizáciu pre sieť prostredníctvom GPRS Attach procedúry. To učiní UE dostupným pre stránkovanie cez 3G-SGSN.

PS (Paketovo Spínané) signalizačné spojenie je tiež zriadené medzi UE a 3G-SGSN prostredníctvom GPRS Attach procedúry. Keď je toto spojenie zriadené UE a 3G-SGSN prejdú do stavu PMM - pripojený. PS signalizačné spojenie pozostáva z RRC spojenia medzi UE a UTRAN a spojením medzi UTRAN a 3G-SGSN. Ak PS signalizačné spojenie je ukončené alebo prerušené, UE a 3G-SGSN prejdú do PMM - Idle (vyčkávacieho) stavu.

Ihneď po prechode do stavu PMM- pripojený, mobilná stanica ak potrebuje požiada o PDP adresu v PDN sieti ak chce vymieňať dáta z externou paketovou sieťou. Mobilná stanica to dokončí aktiváciou PDP kontextu, ktorý chce použiť. PDP kontext charakterizuje sekciu. Obsahuje PDP typy (napr. IPv4 alebo IPv6), PDP adresu, či je požadované QoS, atď. S aktívnym PDP kontextom, mobilná stanica pozná externú paketovo dátovú sieť a dokáže posielat' a prímať dáta.

V PMM – Idle stave mobilná stanica je pripojená do GPRS siete ale je nemožné posielat' alebo prijat' dáta. V tomto prípade nie je zriadené PS signalizačné spojenie medzi UE a 3G-SGSN. Na znovu vybudovanie tohto spojenia UE vykoná procedúru vyžiadania opravy s 3G-SGSN. Ihneď ako je toto spojenie znovu vybudované, UE a 3G-SGSN prejdú späť do stavu PMM- pripojený. Mobilná stanica môže inicializovať aktiváciu PDP kontextu pokiaľ je v PMM- Idle stave.

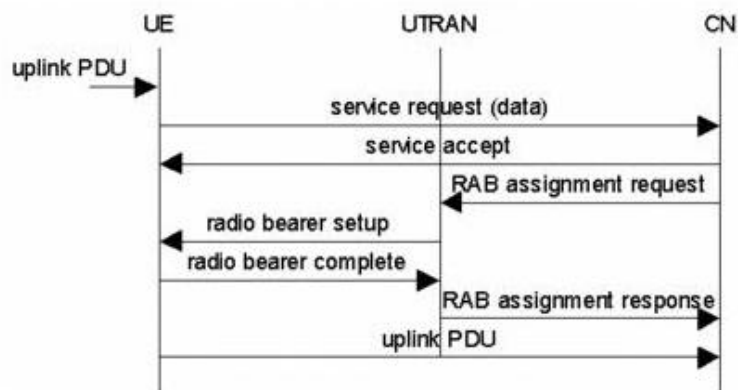


Obr. 3.4: Packet mobility management

3.4 Manažér rádiových zdrojov.

Rádiové zdroje sú prideľované mobilnej stanici vo veľmi flexibilnou metódou závislou na úrovni aktivity a množstve dát, ktoré musia byť odoslané. Pakety môžu byť odoslané cez fyzicky náhodný prístupový kanál (PRACH), fyzicky bežný paketový kanál (PCPCH) alebo prideľovaným fyzickým dátovým kanálom (DPDCH). Pre malé množstvo dát sa normálne používa PRACH. Pre malé až stredné množstvo dát sa uprednostňuje PCPCH. Pre veľké množstvá dát môže byť použitý DPDCH.

Po príjme PDU z vyššej vrstvy, UE zahájí RAB prideľovaciu procedúru ak nebola zriadená a neexistuje žiadny rádiový nosný kanál. Ak PDU nepatrí ku kvalite služby, pre ktorú bol PDP kontext aktivovaný, UE najprv spustí PDP aktivačnú procedúru. Na druhú stranu ak PDP kontext už existuje UE spustí RAB prideľovaciu procedúru odoslaním požiadavky na službu do 3G-SGSN. Procedúra požiadavky na službu sa používa na nastavenie PS signalizačného spojenia so sieťou, ak je UE v stave PMM-Idle alebo na vyžiadanie rezervácie zdrojov do siete ak je UE v stave PMM-spojený. V RAB prideľovacej procedúre, 3G-SGSN posieľa prideľovaciu požiadavku RAB do UTRAN na zriadenie jedného RAB. UTRAN zriadi vhodný rádiový nosný kanál odoslaním nastavovacej správy rádiovkej nosnej do UE, ak je dostupná dostatočná uplink a downlink kapacita na podporu novej rádiovkej linky. Na príjem nastavovacej správy rádiovkej nosnej UE nastaví vhodnú rádiovú nosnú ako predpisuje UTRAN. Ihneď ako je nastavená rádiová nosná, UE môže začať s posielaním/prímaním PDU cez uplink/downlink.

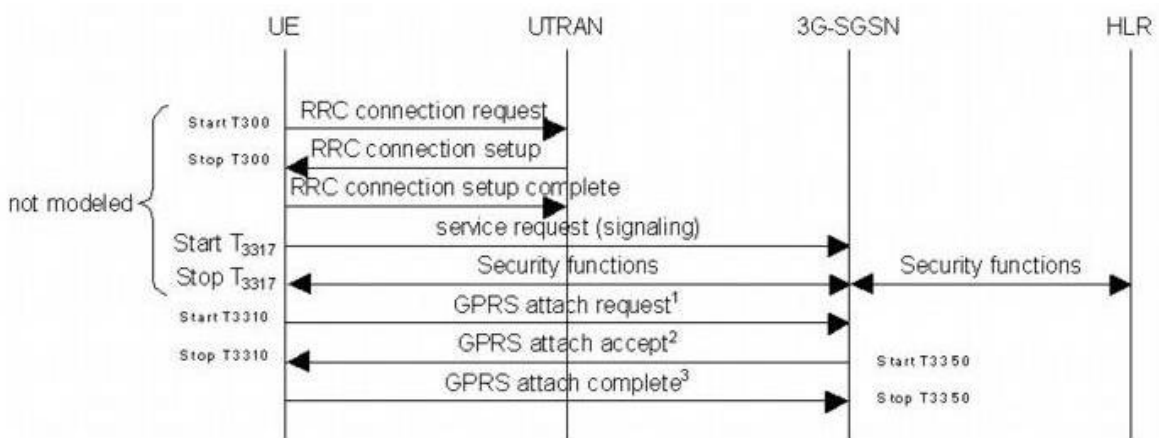


Obr. 3.5: Zriadenie prenosu dát

GPRS attach (prípájanie)

Pre kompletnosť, GPRS procedúry pripájania bez prednostnej CS premávky je ukázaný na obrázku (Obr.3.6). Keďže model neobsahuje niektoré časti ako napríklad PS signalizačné spojenie, je vytvorené hneď po zapnutí. GPRS procedúra pripájania je vykonávaná na informovanie SGSN o polohe používateľa a na nastavenie PS signalizačného spojenia. Ihneď ako je PS signalizačné spojenie vybudované, UE a SGSN prejdú zo stavu PMM-rozpojený do stavu PMM-spojený.

PS signalizačné spojenie zahŕňa RRC signalizačné spojenie medzi UE a UTRAN a lu signalizáciu medzi UTRAN a CN. Ak tam nie je prioritná CS premávka, signalizačné spojenie je nastavené medzi UE a UTRAN. Hneď po zriadení RRC signalizačného spojenia medzi UE a UTRAN, správa s požiadavkou na službu je odoslaná do SGSN na nastavenie lu spojenia medzi UTRAN a SGSN. Po vybudovaní PS signalizačného spojenia UE spustí GPRS prepojovaciu procedúru odoslaním správy s požiadavkou na GPRS pripojenie do SGSN. Požiadavka na GPRS pripojenie obsahuje modul, ktorý sleduje požiadavky. Podľa prevádzky indikuje či má byť lu spojenie uvoľnené alebo udržané po GPRS prepojovacej procedúre. V tejto fáze model predpokladá, že PS signalizačné spojenie je udržiavané celú dobu trvania simulácie.



Obr. 3.6: Zriadenie GPRS pripojenia

3.5 Node-B (Prístupový bod).

Uzol Node-B spravuje rádiové rozhranie siete pre UE v sektore svojho pôsobenia. Opnet obsahuje dva modely Node-B: jedno-sektorový a troj-sektorový. V oboch prípadoch musí existovať vzťah jeden-na-jeden medzi bunkou a Node-B v sieti UMTS. To je dôvod, prečo každá Node-B reprezentuje a spravuje jednu bunku. Troj-sektorová Node-B môže spravovať viac sektorov v jednej bunke. RNC sa pripojí k jednej alebo viacerým Node-B aby komunikovalo s UE v sieti a spravovalo viacero hovorov.

Model Node-B obsahuje jeden modul node_b procesoru pre každý sektor, ktorý spravuje. Modul node_b procesoru je pripojený na ATM alebo IP protokolovú sadu, vysielací modul a prímací modul. Každý prúd paketov medzi node_b modulom a vysielateľom reprezentuje downlink kanál a medzi node_b modulom a prímačom uplink kanál. V smere downlink sú pakety posunuté do vysielateľa na FACH alebo DSCH kanály prípadne na vyčlenenom kanály cez op_pk_deliver. V smere uplink všetky pakety putujú cez RACH, CPCH (nie je namodelovaný v aktuálnej verzii) alebo DCH kanálom. Všetky DCH pakety sa zbierajú do DCH vstupného prúdu bez ohľadu na ich kanál alebo šíriaci kód.

Po štarte simulácie Node-B inicializuje dátové štruktúry použité v reťazovej fáze, nastaví vlastnosti rádiového vysielateľa a prímača pre všetky UE a Node-B v sieti UMTS. (iba prvá Node-B vykoná tento proces) Inicializuje ATM-VC alebo IP spojenie s RNC pre každú QoS triedu a signalizačný kanál. Okrem preposielania paketov medzi UE a RNC, Node-B asistuje RNC pri správe rádiových zdrojov prostredníctvom NBAP (Node-B Application Protocol) signalizačných správ. Keď RNC príme požiadavku na pridanie nového rádiového šíriaceho kódu pre rádiovú linku, informuje Node-B o pridání tejto linky pre hovor. Node-B potom odpovie na požiadavku s príslušiacim šíriacim kódom pre rádiovú linku. Podobná komunikácia prebehne pri rušení linky. RNC informuje Node-B o žiadosti o zrušenie a Node-B uvoľní šíriaci kód pridelený pre túto linku pred odpoveďou RNC.

Node-B opakovače

Opakovače môžu byť použité na zväčšenie pokrytého územia bunkou Node-B. Zlepšujú silu signálu (hlavne pre downlink) a pomáhajú prekročiť fyzické prekážky. Napríklad UE prechádza z jednej bunky do druhej cez územie bez pokrytia. Pridaním opakovača do prvej bunky UE dokáže prejsť z jednej do druhej bez straty spojenia.

Opakovače preposielajú prijaté vysielanie od Node-B v smere downlink a UE vysielanie v uplink smere. Vysielanie opakovača pridáva rušenie v oboch smeroch, musí byť uvažované vo výpočte rušenia.

- **uplink**: Interferuje s rovnakým príjmom u základnej Node-B. Daná bunka Node-B nepríjme pakety a netrpí rušením z opakovačov, ktoré jej nie sú priradené.
- **downlink**: Interferuje s rovnakým príjmom u všetkých UE. Opakovač iba opakuje pakety v jeho priradenej bunke Node-B.

Opakovače preposielajú pakety nedbajúc na počet chybných bitov. Bitové chyby v paketoch, ktoré sú prijaté opakovačom sú prítomné v paketoch prijatých koncovým príjemcom.

Opakovače zosilnia prijaté pakety v zhode s nastavením výkonu opakovača (môže byť rozdielny pre uplink/downlink). Každá bunka Node-B môže mať viacero priradených opakovačov.

4. ŠPECIFIKÁCIA UZLU NODE-B V OPNET MODELERI A PODĽA 3GPP

V tejto kapitole uvediem stručné porovnanie špecifikácie uzlu Node-B. Vývojári prostredia Opnet Modeler 14.5 samozrejme vychádzali z medzinárodných noriem, ktoré sa ale časom upresňovali a niektoré aj menili. Z dôvodu veľkej rozsiahlosti a množstva noriem rozoberiem len základné porovnanie. Najnovšie údaje o špecifikáciách boli čerpané z oficiálnej stránky združenia [3GPP \[6\]](#). Z tejto stránky je možné stiahnuť všetky dokumenty združenia vo formáte .doc. Špecifikácie, z ktorých vychádza prostredie modelu Opnet Modeler 14.5 a majú súvislosť s uzlom Node-B:

- IEEE 1516 RTI
- 3GPP TS 25.433: UTRAN lub rozhranie Node-B Aplikačnej časti (NBAP) signalizácia. verzia 5.1.0.
- 3G TS 23.107: Quality of Service, Koncept a Architektúra (Release 1999).
- 3G TR 25.931: Technická špecifikácia skupiny RAN (Release 1999).
- 3GPP TS 25.413: UTRAN lu rozhranie Rádiovej prístupovej a aplikačnej časti siete (RANAP). verzia 5.1.0.
- 3GPP TS 25.101: Technická špecifikácia skupiny rádiovkej prístupovej siete; UE rádiové vysielanie a príjem (FDD) (Release 1999).
- 3G TS 25.401: UTRAN všeobecný popis (Release 1999).
- 3G TS 25.331: RRC špecifikácia protokolu (Version 5.1.0).

Ako je zrejmé z údajov spomenutých vyššie, tieto dokumenty už nezodpovedajú aktuálnej situácii. Niektoré boli aktualizované naposledy v septembri tohto roka. Aktuálne verzie sa pohybujú okolo čísla 8.4.0, čo je značný posun.

V najnovšom dokumente združenia 3GPP sa už uvažuje o modernizovanej verzii pod označením Node-B+. Stručné zhrnutie obsahu dokumentu 3GPP 25.897 si následne uvedieme.

Funkcie Node-B+:

Sú študované v dvoch oddelených skupinách, kontrolná rovina a užívateľská rovina. Kontrolná rovina zahŕňa všetky funkcie súvisiace s kontrolou pripojených terminálov vo vnútri RAN. Hlavné funkcie sú:

- Kontrola UE
- RANAP ukončenie spojenia
- Processing RANAP správ spojovo orientovaných protokolov
- Kontrola / ukončenia RRC spojenia
- Kontrola inicializácie platných užívateľských spojení

UE kontext je odstránený z (obsluhujúcej) Node-B+, keď je prerušené RRC spojenie alebo je presunuté do inej Node-B+. Kontrolná rovina funkcií obsahuje tiež všetky funkcie pre kontrolu a konfiguráciu zdrojov bunky Node-B+ a rozdelenie vyhradených zdrojov na základe žiadosti z kontrolnej časti roviny obsluhujúcej Node-B+.

Užívateľská rovina obsahuje:

- Protokolové funkcie PDCP, RLC a MAC
- Vysokú rozmanitosť kombinácií

Prepojenie s existujúcou sieťou:

Súčasná architektúra je implementovaná podľa štandardu R99. V skutočnosti malo byť cieľom znovu využitie vyvinutej RAN architektúry rozhraní Iu/Iur na väčšie rozšírenie. Hoci procedúry špecifikované v release 99/4/5 rozhrania sú optimálne na implementáciu, kde veľké centralizované kontroléry sú použité na správu veľkého množstva buniek. Optimalizácia tejto procedúry je nevyhnutná pre správnu podporu a distribúciu implementácie, kde veľké časti funkcií RNC sú pridelené malým kontrolerom(Node-B+). Vo vývoji RAN, SRNS relokačná frekvencia významne na výšila malý počet buniek obsluhovaných Node-B+, je potrebné zosilnenie SRNS relokácie. Toto posilnenie dovoľí obsluhujúcej Node-B+ spustiť SRNS relokáciu. Na podporu posilnenie relokácie niektoré

RNSAP procedúry potrebujú byť revidované pre udržanie alebo zriadenie rádiovkej linky cez Iur z cieľovej Node-B+ do existujúceho alebo nového drift Node-B+ základu. Iným príkladom nevyhnutnej modifikácie je použitie RNC identifikátoru [0...4095] použitého v Iu signalizácii. Potrebuje rozšírenie so správnym identifikátorom, ktorý umožní rozšírenie adresového priestoru. Toto je potrebné na prispôsobenie navýšeného počtu Node-B+ uzlov s RNC funkčnosťou.

Otvorené otázky:

- Rozšírenie Id RNC (Uu dosah)
- Zmysel UE kontextu v Node-B+ (kontrolná a užívateľská rovina). Ako je UE kontext zavedený v Node-B+.
- Úroveň mobility a vlastností (QoS chápanie užívateľov) rt služby častej relokácie je potrebné študovať.
- Optimálna lokácia PDCP (možnosti zachytenia: Node-B+ alebo RNG)
- Otázka poslednej míle, MDC umiestnenie. Otázka s SHO a bezšvovej relokácie s navrhnutou architektúrou vzhľadom k kapacite poslednej míle je potrebné študovať ďalej. Tlaky na základnú sieť TNL (topológia a šírka pásma) musí byť zvážená pre činnosť SRNS relokačného rozhodnutia alebo iné RNL rozhodnutie je potrebné ďalej študovať.

5. SIMULÁCIA UMTS V OPNET MODELER 14.5

Vytvorenie simulačného scenáru.

Výsledný scenár simulácie je zhotovený postupom, ktorý je popísaný v nasledujúcich bodoch. Tieto body budú ďalej podrobnejšie popísané. Poriadie niektorých bodov nemusí byť presne dodržané, ale uvedené poradie je logicky a technicky najsprávnejšie.

- **Vytvorenie nového projektu a výber prostredia**
- **Výber potrebných objektov a ich prepojenia**
- **Nastavenie vlastností Application config**
- **Nastavenie vlastností Profile config**
- **Nastavenie jednotlivých uzlov**
- **Nastavenie sledovaných vlastností siete**
- **Spustenie simulácie a zobrazenie výsledkov**

Vytvorenie nového projektu a výber prostredia.

Po spustení programu *Opnet Modeler 14.5* nasleduje otvorenie položky *File->New* a z nasledujúcej ponuky vybratie možnosti *project*. Otvorí sa okno, kde sa vyplní meno projektu a názov scenáru. V dolnej časti okna je vhodné nechať zaškrtnutú voľbu *Use Startup Wizard when creating new scenario*. Pre vytvorenie prázdneho scenára vyberieme v ďalšom okne *Create Empty scenario*. V nasledujúcom kroku je na výber viacerých druhov prostredia, v ktorom vybudujeme požadovanú sieť. Najzaujímavejšou je možnosť *World*, ktorá by mala zohľadňovať aj geografické vplyvy. Pre použitie metrickej sústavy necháme zaškrtnutú voľbu

Use metric maps. Následne je možné si zvoliť konkrétnu časť sveta, kam bude umiestnená sieť. Na zvolenej mape sa dá priblížiť konkrétna lokalita. Nasleduje okno s výberom technológií, ktoré môžu byť použité. V tomto prípade to je UMTS. Ďalšie okno slúži na prekontrolovanie nastavení a ich záverečné potvrdenie.

Výber potrebných objektov a ich prepojenie.

Po výbere lokality, kde bude umiestnená simulovaná sieť prejdeme k výberu potrebných prvkov siete. K tomu slúži ponuka *Object palette*. Po otvorení tejto ponuky sa zobrazí okno, v ktorom sú na výber prvky sietí rôznych technológií, linky rôznych druhov... Prvky sú triedené do skupín podľa technológie alebo podľa abecedy, čo uľahčuje hľadanie. Požadovaný objekt je možné umiestniť na plochu pretiahnutím z ponuky alebo dvojklikom a následným výberom pozície. V prípade prepojovacej linky po dvojkliku, kliknutím na objekty uskutočníme ich prepojenie danou linkou.

Nastavenie vlastností Application config.

Po kliknutí pravým tlačítkom myši na *Application config* a výbere možnosti *Edit Attributes* sa otvorí okno, v ktorom je možné vytvoriť aplikácie a nastavovať ich vlastnosti. Po otvorení položky *Application definition* ponuka *Rows* a jej hodnota odpovedá počtu aplikácií, ktoré budú použité. Kliknutím na práve vytvorené *Rows* je možné ich editovať. Je tu možnosť nastaviť meno aplikácie a druh služby, ktorá bude poskytovaná. Po výbere služby je možné použiť prednastavené parametre alebo ich upraviť podľa svojich potrieb možnosťou *Edit*. Po otvorení voľby *Edit* je možné po otvorení ponuky *Type of Service* priradiť aplikácii jeden z ponúkaných typov služieb, ktoré sú priradené jednotlivým triedam QoS.

Nastavenie vlastností Profile config.

Základné nastavenia sú rovnaké ako u *Application config*. Pravé tlačítko *Profile config*, *Edit Attributes*, otvorenie položky *Profile Configuration* a nastavenie *Rows* na hodnotu, ktorá odpovedá počtu potrebných profilov. V konkrétnom *Row* je možné nastaviť meno profilu,

počet aplikácií, ktoré sa budú spúšťať v profile a ich mená. Následne je možné meniť vlastnosti ako napríklad *Start time Offset*, *Duration*, *Reapeatability* a *Operation mode*. Tieto vlastnosti ovplyvňujú iba konkrétnu aplikáciu, pre ktorú boli nastavené. Vlastnosti celého profilu je možné nastaviť nižšie položkami *Start Time*, *Duration* a *Reapeatability*. *Start Time* nastavuje čas, kedy bude profil spustený. *Duration* je doba, počas ktorej bude profil spustený a *Reapeatability* udáva počet možných opakovaní a časovú medzeru medzi nimi.

Nastavenie jednotlivých uzlov.

V tejto podkapitole budú uvedené nastavenia UE, RNC a serverov. Nastavenia ostatných uzlov môžu zostať v podobe ako boli prednastavené.

Nastavenie UE: Tento objekt predstavuje UMTS klienta. Pravým tlačítkom sa otvorí ponuka, v ktorej *Edit Attributes* umožňuje nastavovanie potrebných parametrov. Po nastavení názvu uzlu je potrebné nastaviť ďalšie parametre v položke *Application* a následne *Application supported*, kde je možné nastaviť počet podporovaných profilov a konkrétne, ktoré to budú. V prípade VoIP služby je potrebné na jednej stanici nastaviť namiesto podporovaného profilu podporovanú službu v ponuke *Application: Supported services*. V tejto ponuke sa nastavuje počet podporovaných služieb, ktoré sú vyberané podľa názvu aplikácie. Pole *Description* musí byť nastavené na hodnotu *supported*. Na druhej stanici je nastavený iba podporovaný profil. Ostatné nastavenia zostanú v stave ako boli prednastavené.

Nastavenie RNC: Meniť nastavenia tohto uzla je potrebné pre simulácie handoveru a podrobné nastavenie vlastností kanálov pri použití QoS. Nastavenie podporovaného spôsobu handoveru sa uskutoční v *Edit Attributes*, *UMTS RNC Parameters* a *Handover Parameters*. Tu je možné nastaviť druh handoveru, ktorý bude vykonávaný a počet buniek súčasne v liste aktívnych. Podrobné nastavenia pre jednotlivé triedy QoS sú dostupné v položke *Data Channel Config*. K nej sa dostaneme cestou *Edit Attributes*, *UMTS RNC Parameters* a *Channel Configuration*.

Nastavenie serveru: Rovnakým spôsobom ako u predchádzajúcich uzlov sa dostaneme do okna s možnými nastaveniami parametrov. Tu v ponuke *Application: Supported Services* bude nastavená aplikácia s príslušným názvom a položka *Description* na *supported*

Nastavenie sledovaných vlastností siete.

Charakteristické parametre je možné sledovať v dvoch rôznych stupňoch. Sledovať parametre z globálneho hľadiska, jednotlivé parametre sa nastavujú cez ponuku *Choose Result* v skupine *Global statistics*. Druhý stupeň tvoria parametre jednotlivých uzlov. Tie sa nastavujú prostredníctvom položky *Individual DES Statistics*, ktorá je súčasťou ponuky otvorenej pravým kliknutím na daný uzol. Následne môžu byť vybrané parametre, ktoré je potrebné sledovať.

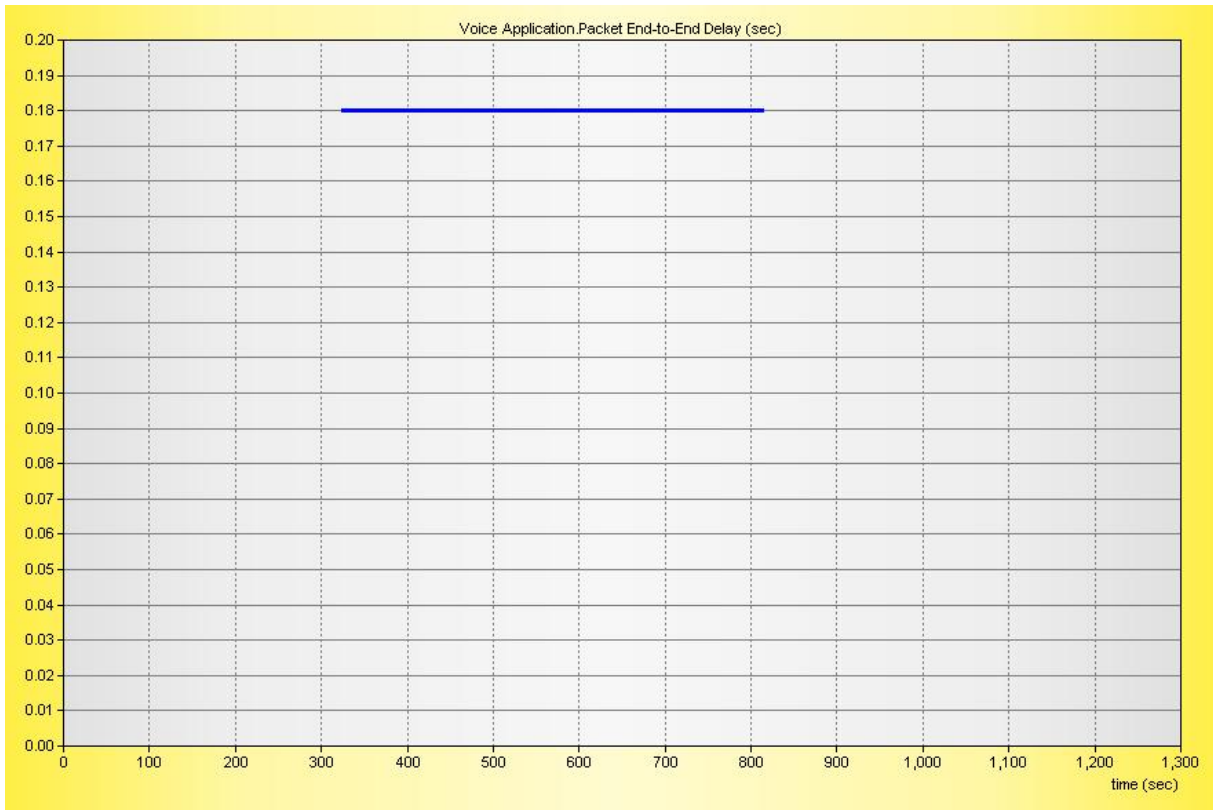
Spustenie simulácie a zobrazenie výsledkov.

Spustenie simulácie umožňuje ikona s obrázkom bežca na hlavnom paneli programu alebo ju spustíme z hlavného menu. Cesta cez hlavné menu je nasledujúca *DES -> Configure/Run Discrete Event Simulation*. V následne zobrazenom okne sa dajú nastavovať parametre, z ktorých je dôležitý hlavne čas trvanie simulácie a počet meraných hodnôt počas simulácie. Simulácia sa spustí tlačidlom *Run* v spodnej časti okna. Zobrazenie výsledkov po dobehnutí simulačného procesu sa dá uskutočniť pomocou ikony s obrázkom grafu na hlavnom paneli alebo cez hlavné menu *DES-Results-View Statistics*. Po otvorení okna so sledovanými parametrami zaškrtnutím danej položky sa zobrazí jej graf. Po zaškrtnutí viacerých položiek sa grafy radia pod seba.

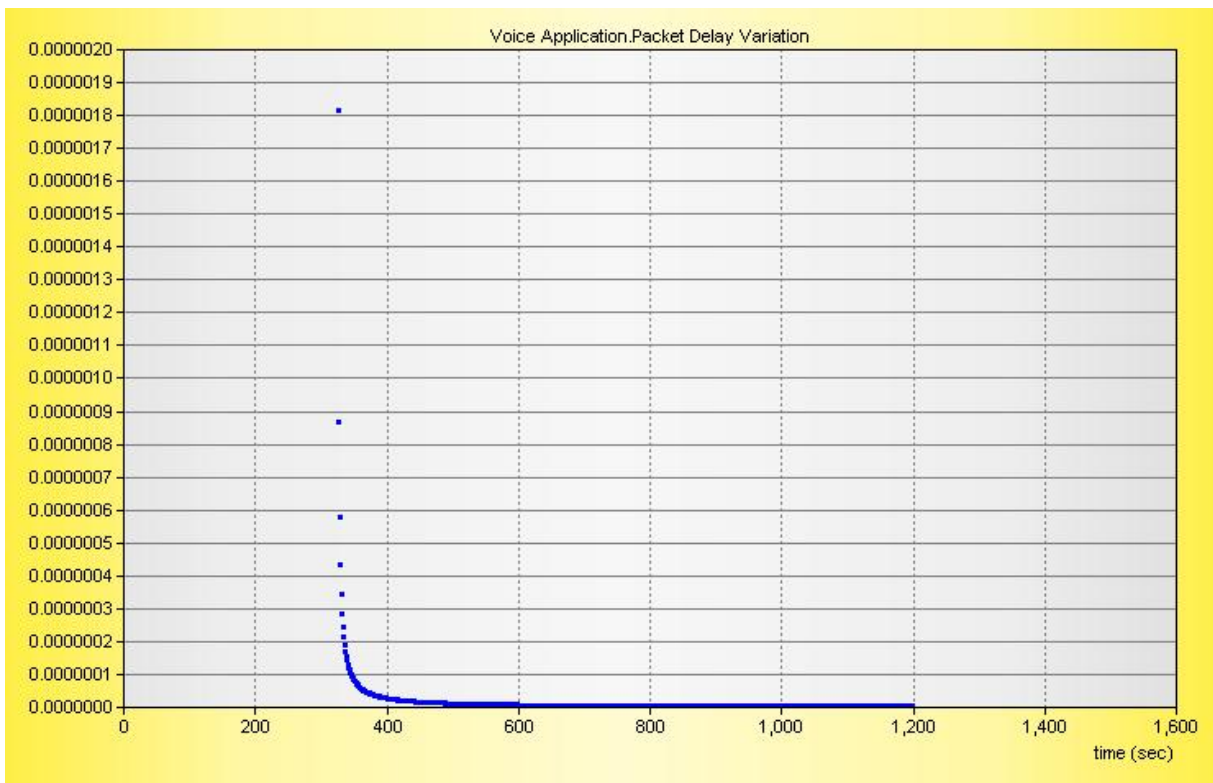
6. VLASTNÁ SIMULÁCIA A JEJ VÝSLEDKY

Táto kapitola bude venovaná simulácii, ktorá je zameraná na najčastejšie používané služby. Služby citlivé a kvalitatívne parametre siete zastupuje služba VoIP a služby na pozadí sú reprezentované FTP, web browsing a email. Tieto služby sú simulované na štyroch stanicích v rôznych kombináciách. Sú sledované základné parametre ako okamžitá prenosová rýchlosť, oneskorenie, množstvo prenesených dát a vzájomný vplyv súčasného využívania. V simulácii je implementovaný model QoS a to v podobe priradenia služby VoIP do konverzačnej triedy a ostatných služieb medzi služby na pozadí. Pri tomto rozdelení sa uplatňujú rôzne nastavenia pre jednotlivé služby, čo vyplýva z prislúchajúcich tried. Simulovaná sieť sa skladá zo základných prvkov ako GGSN, SGSN, RNC a prepojenia na paketovú sieť, ktorá pripojuje tri serveri poskytujúce jednotlivé služby. Rádiová časť obsahuje spomínané RNC, dva prístupové body Node-B, štyri účastnícke stanice UE. Služby v triede služieb na pozadí sú doručované spôsobom Best effort. Best effort znamená maximálnu snahu o doručenie, ale nezaručuje výsledok.

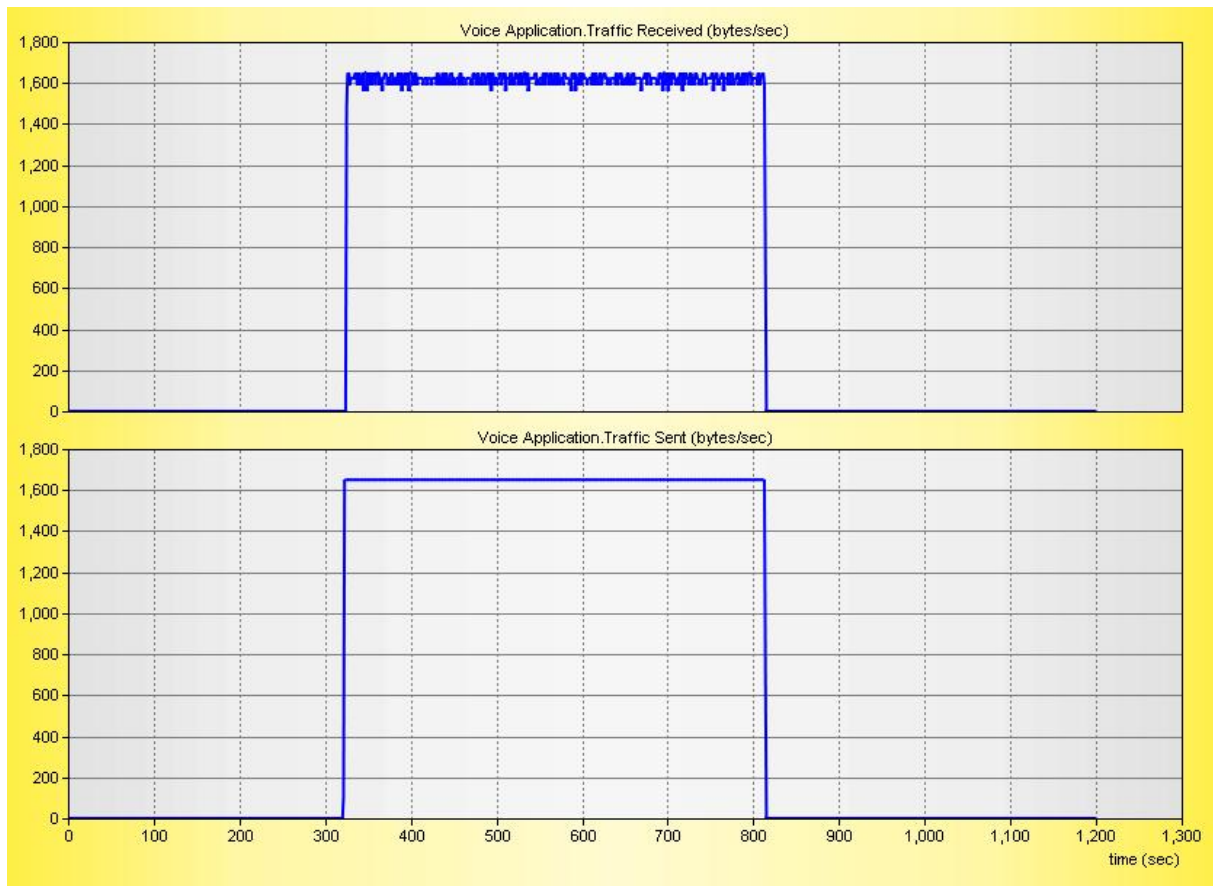
Začiatkom je uvedené oneskorenie služby VoIP, ktoré je ovplyvnené kódovaním, kompresiou a šírením prenosovou cestou. Hodnota času kódovania je priamo prednastavená v obslužnom uzle RNC na 20 ms. Oneskorenie dosiahnuté pre VoIP sa pohybuje na úrovni 0.18s, [viz.obr.6.1](#). V simulovanej časti siete boli umiestnené iba dve stanice na vykonanie simulácie hovoru. Hovor bol nadviazaný v piatej minúte simulácie a ukončený v priebehu trinástej minúty. Z nameraného údaju zmeny oneskorenia paketov je možné vysledovať priebeh zriaďovania spojenia. Tieto údaje pre stanicu UE sú zobrazené na [obrázku 6.2](#). Následne je na [obrázku 6.3](#) je zobrazený priebeh prenosu hovorových dát. Ich objem sa pohybuje na úrovni 13,2 kbit, čo odpovedá teoretickým hodnotám pre kódovanie GSM FR speech. Pri vzniknutom oneskorení a jeho kolísaní sú dáta prenášaného hovoru minimálne skreslené.



Obr. 6.1: Oneskorenie pre VoIP stanica UE

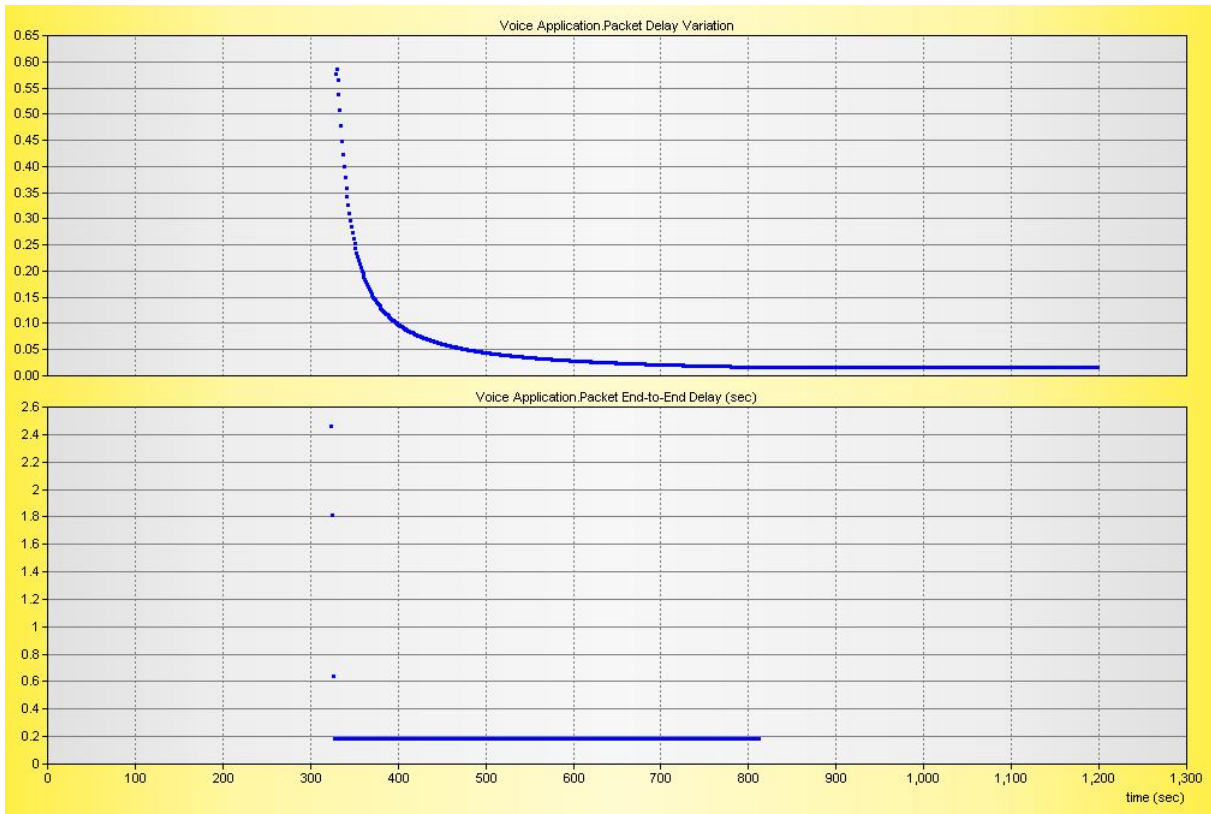


Obr. 6.2: Zmeny oneskorenia pre VoIP stanica UE

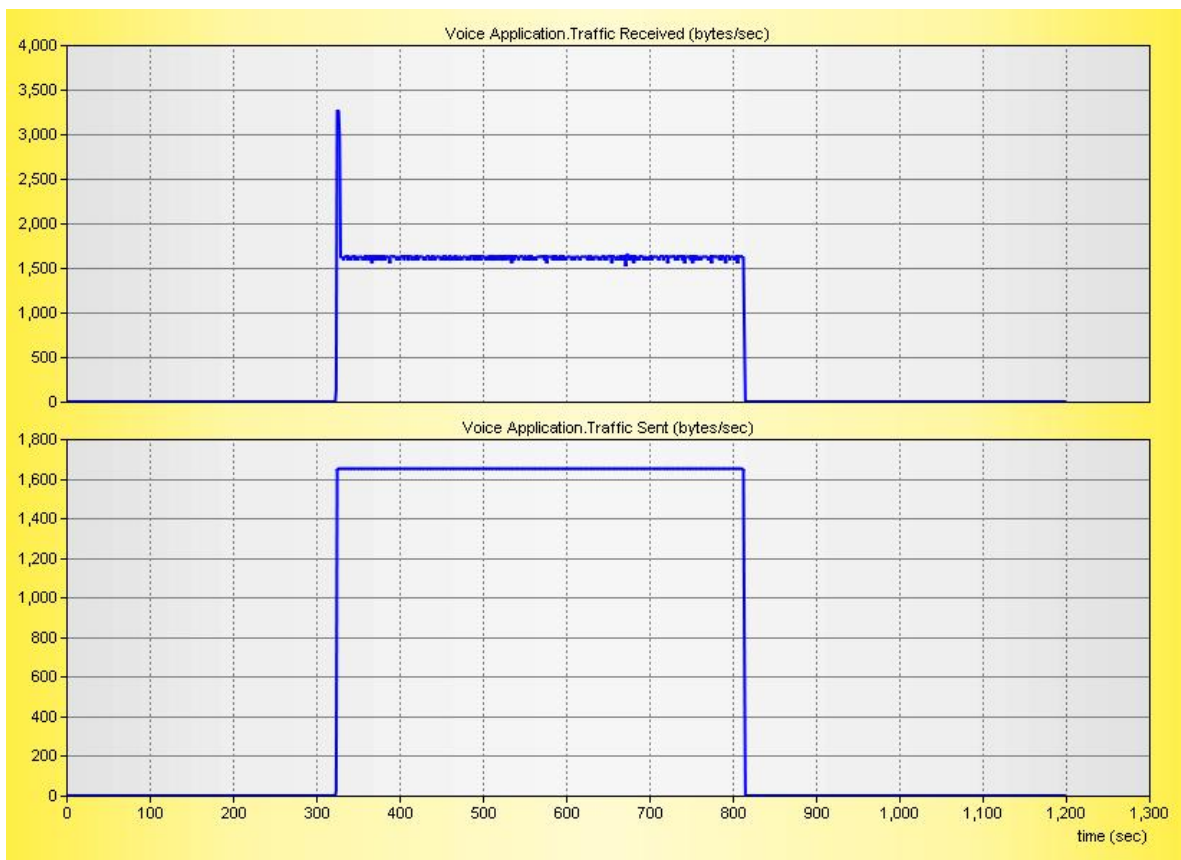


Obr. 6.3: Priebeh prenosu dát pre VoIP UE

Na protiahlom uzly UE_2 sa sledované priebehy líšia. Spôsobuje to funkčná pozícia UE_2 ako stanice, ktorá príma volanie. Oneskorenie dosahuje hodnotu 200 ms, ale najväčší rozdiel oproti inicializujúcej strane je v zmene oneskorenia paketov, ktoré dosahujú výrazne vyššie hodnoty ako v prípade UE. Hodnoty zmeny oneskorenia klesajú od zahájenia hovoru od hodnoty 0,6 s k hodnotám blízkym nule. Oba priebehy sú uvedené na [obrázku 6.4](#). Priebeh prenosu dát je poznačený týmto javom a to vo forme nárazového zvýšenia prenesených dát po zahájení hovoru. Na [obrázku 6.5](#) ho znázorňuje ostrý hrot na začiatku priebehu prijatých dát. Odoslané dáta nie sú touto skutočnosťou postihnuté.

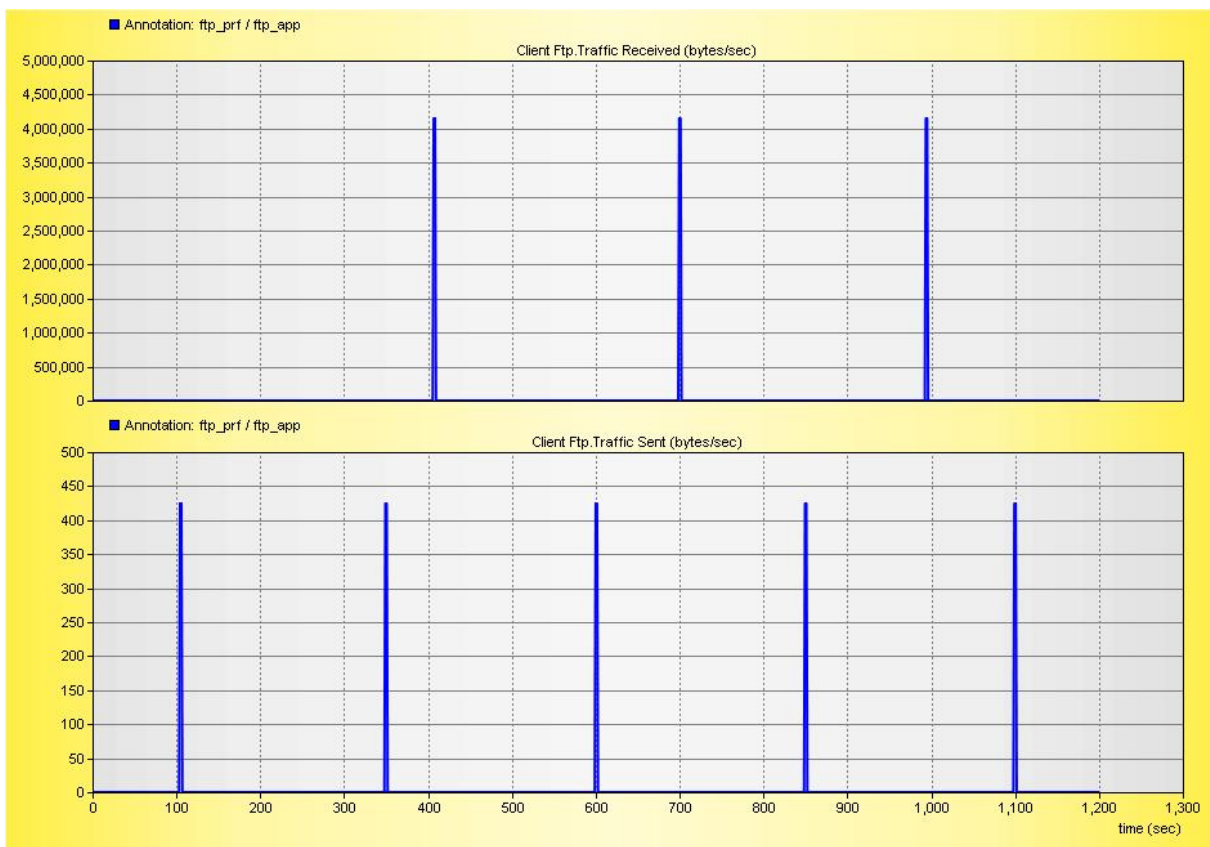


Obr. 6.4: Zmena oneskorenia a oneskorenie pre VoIP UE_2



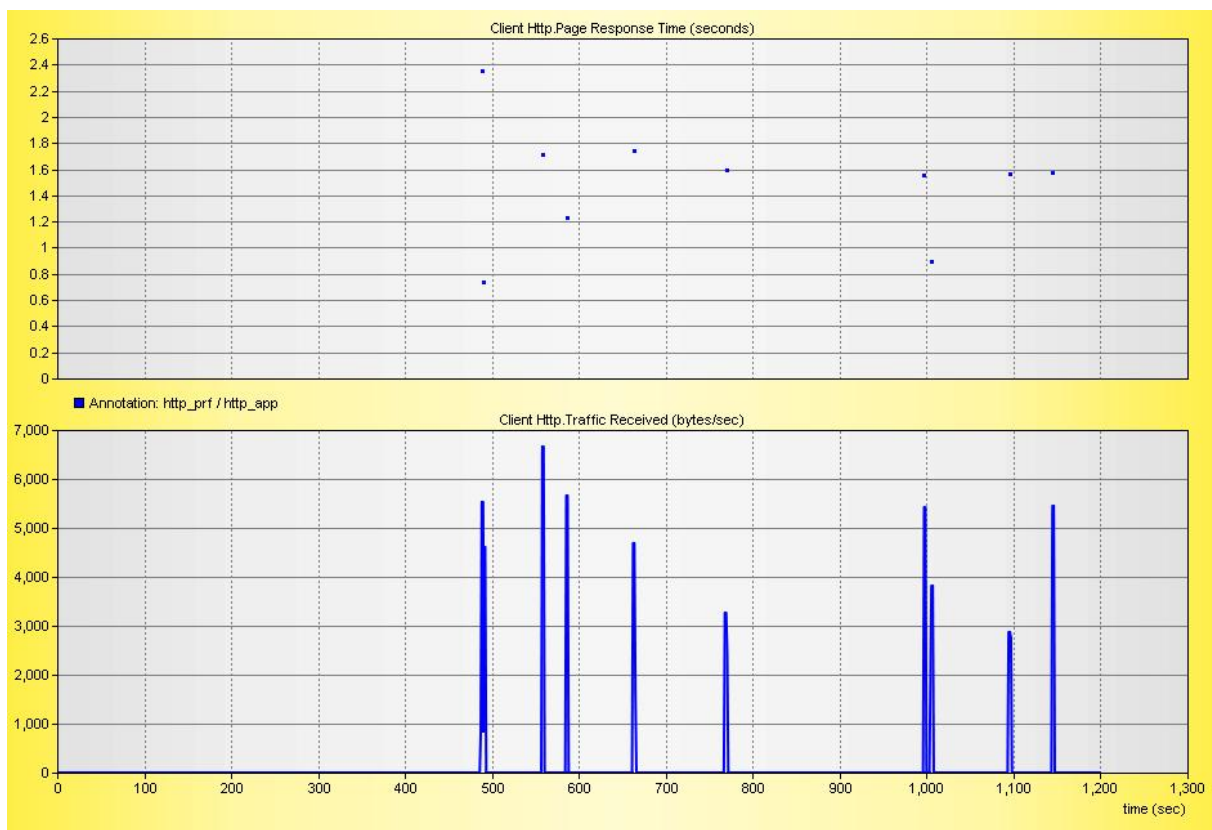
Obr. 6.5: Priebeh prenosu dat pre VoIP UE_2

Na účastníckej stanici UE beží aj služba na pozadí FTP. Sťahované súbory mali veľkosť 5MB. Sťahovanie začalo v druhej minúte simulácie a trvalo až do jej skončenia. Zväčšenie prenášaných súborov sa nepodpíše na oneskorení hovorovej služby, vďaka umiestnení v inej triede QoS. Priebehy veľkostí prenesených dát sú uvedené na [obrázku 6.6](#). Priebeh oneskorenia je uvádzaný samostatne pre lepšie rozlíšenie časovej osi a presnejšie odčítanie hodnoty. Aplikácia FTP je nastavená výhradne na prenos v smere downlink a to v nastavením parametru *Command mix* v *Application config* na hodnotu 100%. Horný priebeh znázorňuje stiahnuté súbory a dolný odoslanie požiadavky, ktorá na výrazne menšiu veľkosť. Stiahnuté súbory sú znázornené s časovým posunom, ktorý odpovedá potrebnému času na prenos súboru. Požiadaviek je zobrazených viac, čo je spôsobené ukončením simulácie pred ukončením stiahnutia posledných súborov.

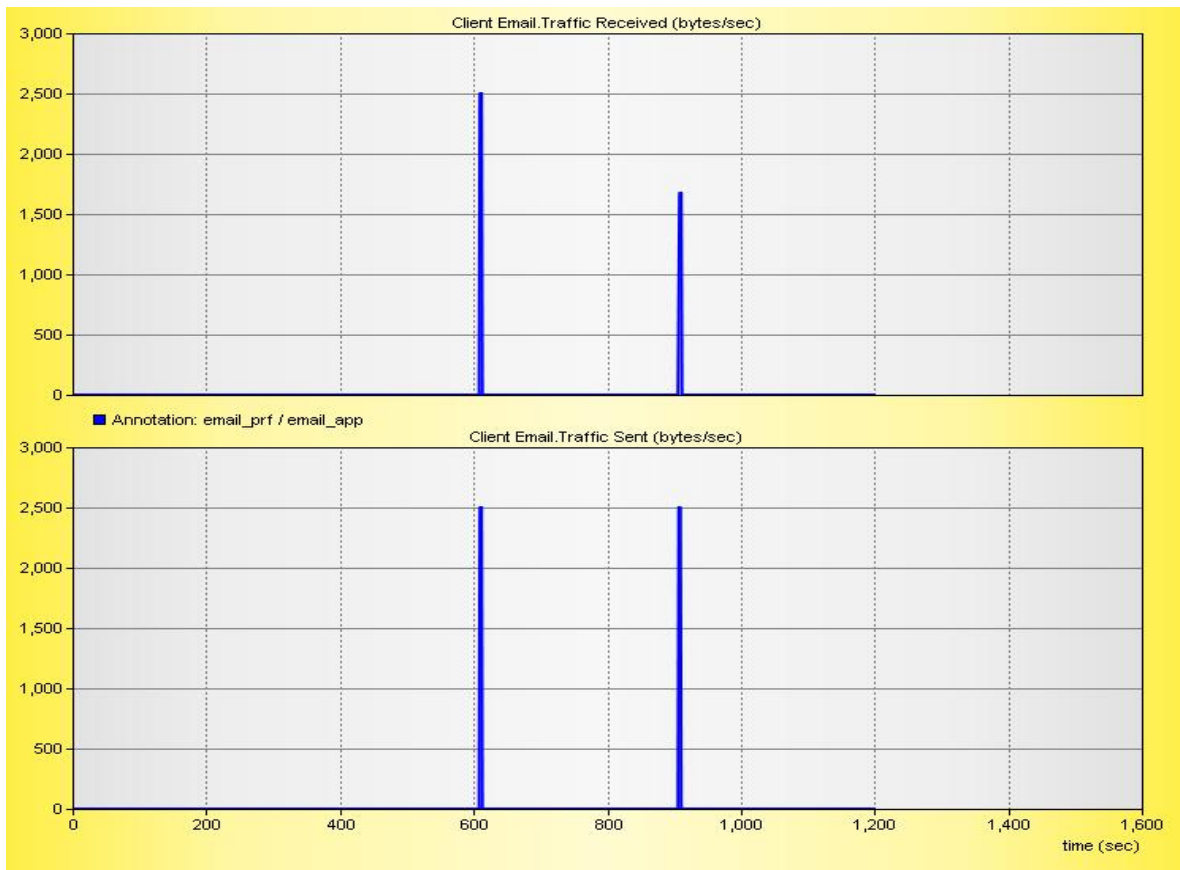


Obr. 6.6: Priebeh prenosu súborov pre FTP

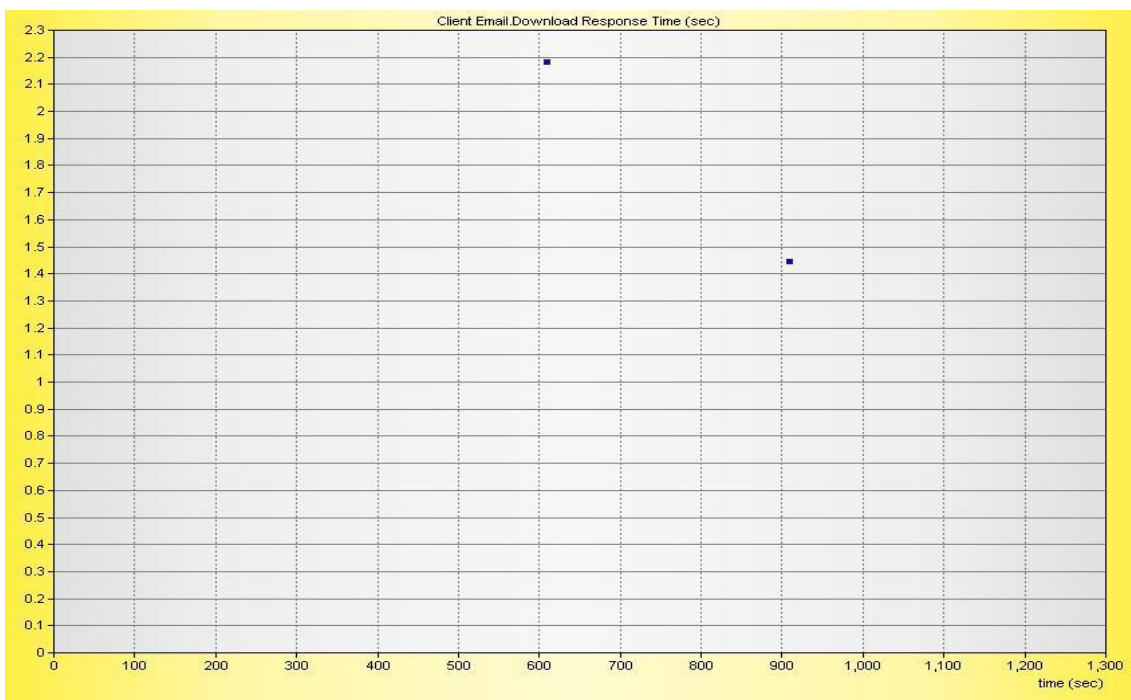
Služba http ani služba email, teda prezeranie internetových stránok ani manipulácia s elektronickou poštou nemá vplyv na oneskorenie hovoru. Tieto služby sú priradené QoS triede prenosu na pozadí a metódou doručenia Best effort. Z toho vyplýva veľká hodnota času odozvy a to pre obe služby. U služby email môžu byť odosielané dáta vo väčšom objeme ako prímané od servera ([obr.6.8](#)), čo symbolizuje už definícia samotnej služby. Veľkosti prenesených dát a čas odozvy, v prípade prezeranie internetových stránok sú znázornené na [obrázku 6.7](#). Hodnoty časovej odozvy pre službu email sú uvedené na [obrázku 6.9](#). Časová odozva pre obe služby dosahuje hodnotu rádovo jednotky sekúnd.



Obr. 6.7: Prenesené dáta a čas odozvy pre HTTP



Obr. 6.8: Prenesené dáta v smere downlink a uplink pre email



Obr. 6.9: Čas odozvy pre email

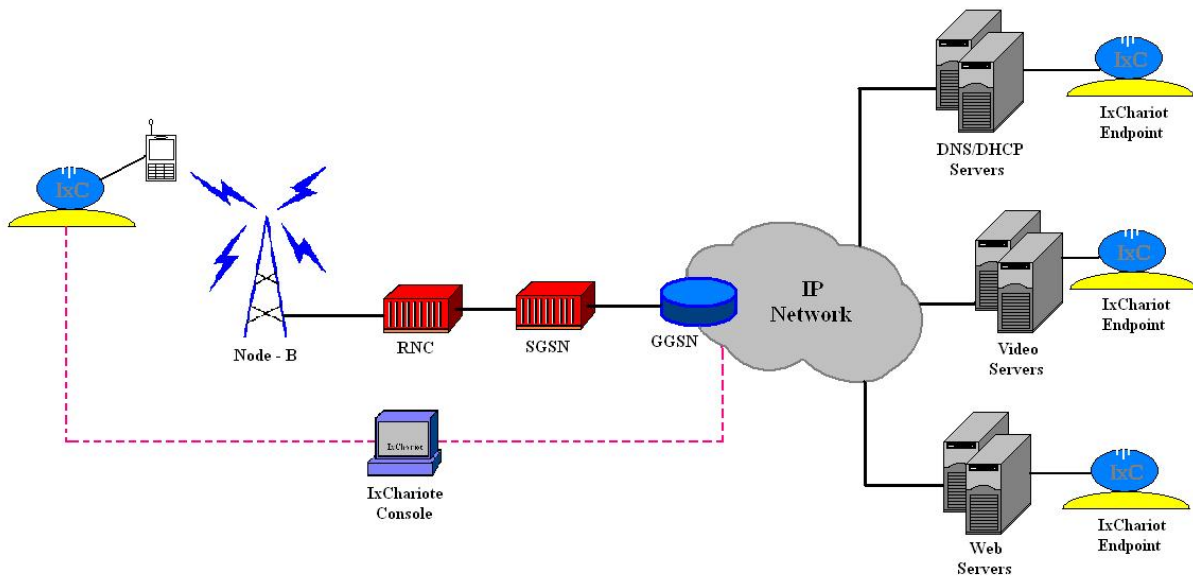
7. MERANIE V REÁLNEJ SIETI A JEHO VÝSLEDKY

Merania zamerané na vlastnosti reálnych sietí boli uskutočnené v sieťach rôznych operátorov. Zamerané na služby, ktoré boli simulované v prostredí Opnet Modeler 14.5, aby bolo možné urobiť porovnanie. V tejto kapitole budú uvedené výsledky a to hlavne v podobe grafických priebehov tak ako to bolo učené v predchádzajúcej kapitole. Okrem sietí rôznych operátorov boli testované aj rôzne technológie podľa ponuky operátora. Prvá podkapitola bude venovaná popisu použitých nástrojov a to hlavne programu IxChariot od spoločnosti Ixia. Meranie sa prevádzalo pomocou dvoch prenosných počítačov, jeden pripojený do mobilnej siete UMTS pomocou modemu a druhý do pevnej paketovej siete. V prípade testu služby VoIP boli obidva počítače pripojené pomocou modemu. Na jednom bol nainštalovaný IxChariot a na druhom IxChariot Endpoint.

IxChariot – aplikácia na testovanie sietí

IxChariot je vedúcim priemyselným testovacím nástrojom pre simulovanie aplikácií pre reálne použitie a predpoveď správania a vlastností zariadení a systému pri reálnych podmienkach záťaže. Pozostáva z IxChariot Console, špecializovaných koncových bodov a IxProfilu. Produktová rodina IxChariot ponúka merania naprieč sieťou a testovanie zariadení simuláciou stoviek protokolov s možnosťou tisícok koncových bodov siete. IxChariot poskytuje schopnosť spoľahlivo prístupíť k charakteristikám každej aplikácie bežiackej v bezdrôtových sieťach.

3G siete sú zavádzané na poskytnutie výrazného zlepšenia v prenosovej rýchlosti dát pre koncového užívateľa mobilnej siete. Toto sú predpoklady na implementovanie 3G služieb ponúkajúcich streamovanie videa a širokú škálu dátových služieb. IxChariot od spoločnosti Ixia umožňuje mobilným operátorom porozumieť skutočným end-to-end vlastnostiam ich paketovej siete. Na tomto príklade ([Obr:7.1](#)) je znázornený princíp testovania. IxChariot endpoint sú inštalované na rôznych uzloch IP chrbtej siete a tiež na mobilnej stanici 3G alebo na prenosnom počítači pripojenom k mobilnej stanici prípadne k modemu. Test môže byť spustený medzi ľubovoľnou kombináciou koncových bodov. IxChariot obsahuje skripty na simulovanie komunikácie aplikácií, ktoré sú uvedené na [obrázku 7.2](#). IxChariot tiež poskytuje meranie charakteristík ako priepustnosť, oneskorenie a jitter. Tieto testy a štatistiky poskytujú metódy pre testovanie sietí z pohľadu koncového používateľa. Informácie z [7].



Obr. 7.1: Príklad testovania siete pomocou IxChariot

Základné rysy:

- Cez 150 aplikačných skriptov simulujúcich podnikovú, Triple-Play a internetovú komunikáciu
- Reálne správanie aplikácií na transportnej vrstve (Layer 4)
- Vytváranie oddelenej kontroly a dátovej aktivity použitím Aplikačných skupín
- Prispôsobené skriptovacia kapacita použitím IxProfile a IxChariot SDK
- Vytvorenie sofistikovaných provozných zákonitostí s a bez použitia QoS pre IPv4 a IPv6
- Meranie prenosovej rýchlosti, packet loss, end-to-end oneskorenie, MOS a MDI
- Bezšvové prepojenie IP štat. s 802.11 klient štatistikami ako RSSI
- Meranie dopadu nových technológií ako VoIP, IPv6 a multicast video
- Vloženie voliteľného obsahu pre test prenosu špecifických dát naprieč sieťou
- Vyladenie porúch kritických vlastností v sieťových segmentoch a zariadeniach
- Meranie IPTV kanálu
- Test vysokorýchlostných sietí ako satelitné linky a 10 Gbit Ethernet

Podporované protokoly: TCP, UDP, RTP, IPX, SPX, IPv4, IPv6, IP Multicast,
VoIP (G.711, G.723, G.726, G.729)

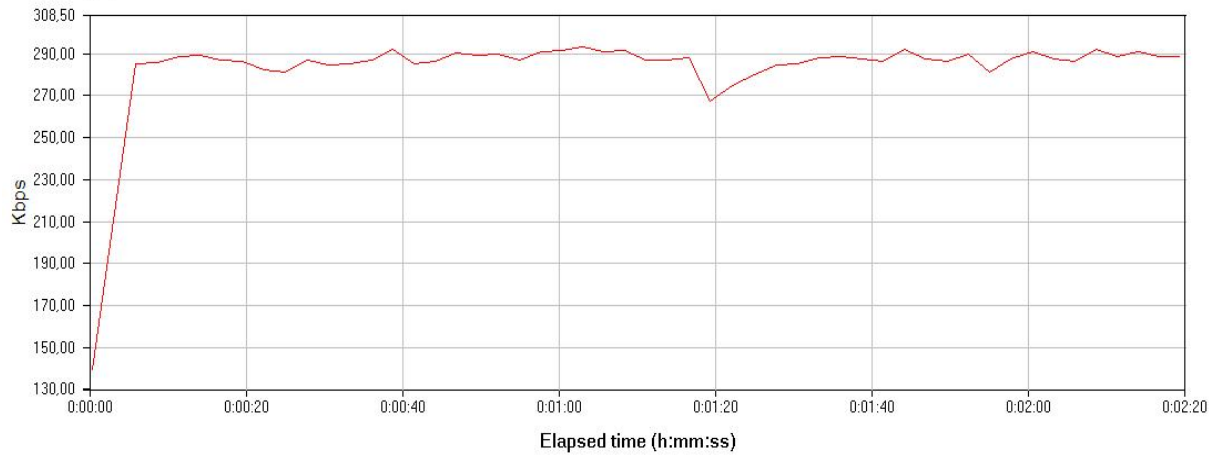
» Active Directory	» HTTP/HTTPS
» Baan	» FTP (active/passive)
» CCMail	» SMTP
» Citrix	» Telnet
» Lotus Notes	» AIM
» LDAP	» Yahoo IM
» Microsoft Exchange	» MSN Messenger
» Microsoft RDP/Terminal Services	» ICQ
» Microsoft SQL Server	» BitTorrent
» Oracle	» eDonkey2000
» SAP	» Kazaa
» Online gaming - FPS and RTS	» NetMeeting
» DNS	» Realmedia
» NNTP	» SIP
» POP3	» H.323

Obr. 7.2: Simulovateľné aplikácie v IxChariot

Výsledky meraní v reálnych sieťach

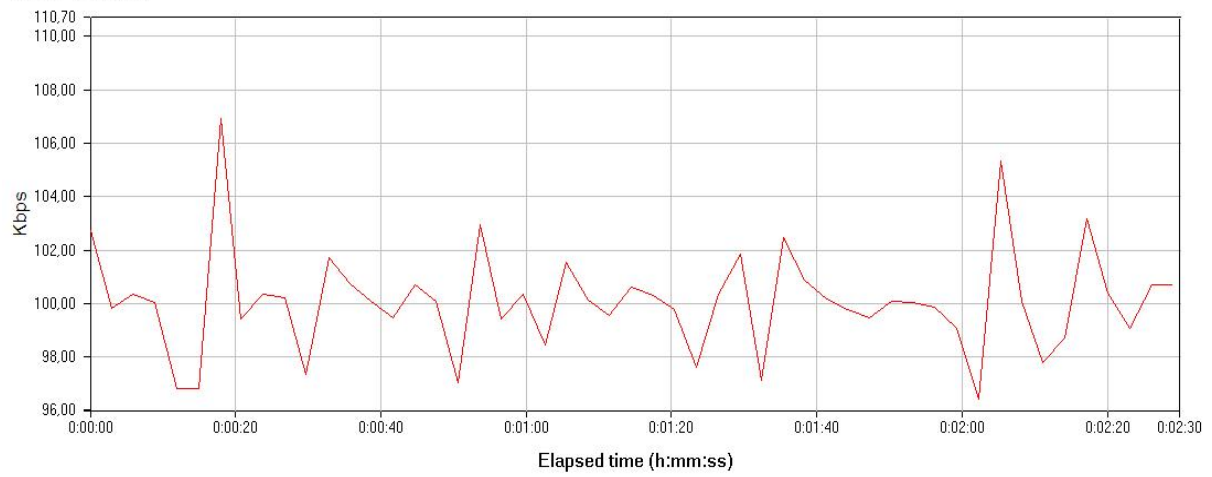
V reálnych sieťach boli merané parametre a služby, ktoré budú podrobne rozobraté v tejto podkapitole. Medzi základné parametre patrí priepustnosť alebo maximálna prenosová rýchlosť. Tá je meraná cielene prenosom súborov danej veľkosti so zámerom dosiahnutia maximálnej možnej hodnoty. Hodnoty dosiahnuté meraním v sieti UMTS sa blížila teoretickým hodnotám. Priemerná zmeraná hodnota pre smer downlink bola 281 kbit/s, priebeh je vyobrazený na [obrázku 7.3](#). Toto meranie bolo uskutočnené v sieti Telefonica O2. V prípade smeru uplink to bolo 100 kbit/s, čo odpovedá všeobecnému pravidlu nižšej prenosovej rýchlosti pre tento smer, viz [obr. 7.4](#). V prípade použitia nastavby siete UMTS a to konkrétne HSDPA sa priemerná hodnota dostala na hodnotu 761 kbit/s, čo je viac ako trojnásobný nárast klasickému UMTS. Priebeh obsahuje výrazné výpadky čo mohlo byť spôsobené polohou stanice a stratou signálu ([obr. 7.5](#)). Zmerané hodnoty sa neblížila k hodnotám deklarovanými operátorom, ale v našom prípade sa jedná priamo o čisté užívateľské dáta bez režijných dát, potrebných pre prenos.

Throughput



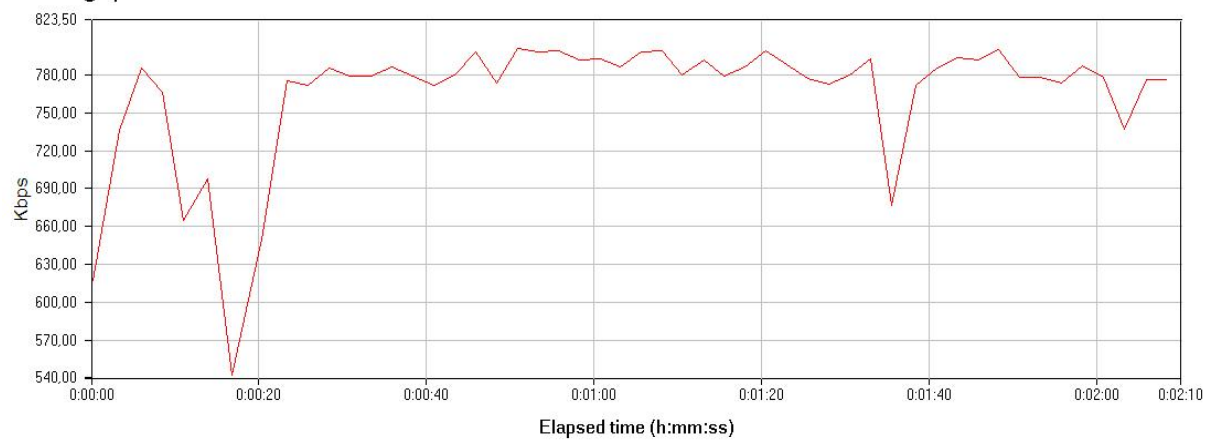
Obr. 7.3: Downlink pren. rýchlosť UMTS

Throughput



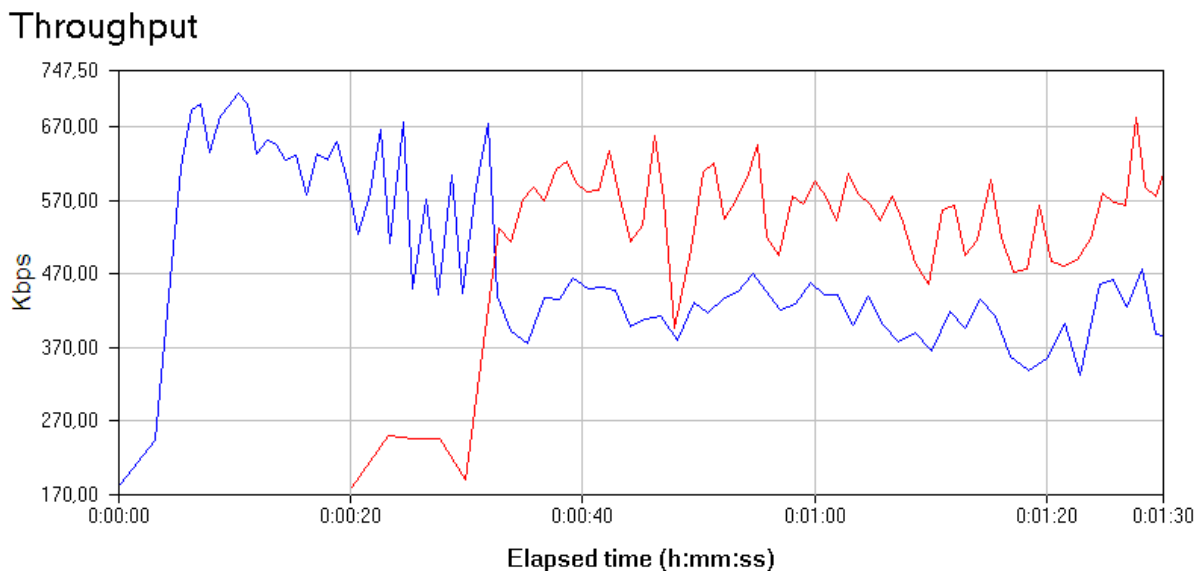
Obr. 7.4: Uplink pren. rýchlosť UMTS

Throughput



Obr. 7.5: Downlink pren. rýchlosť UMTS + HSDPA

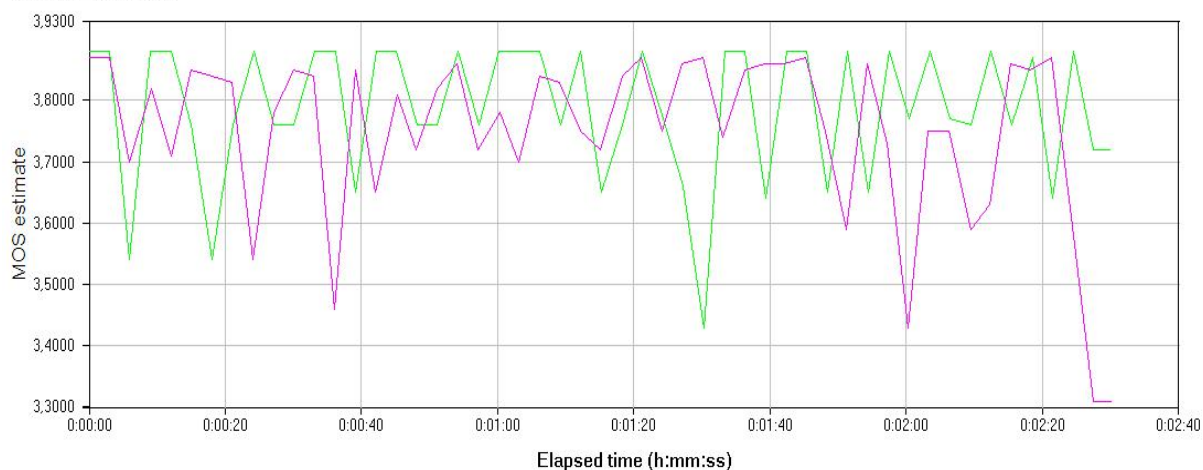
V prípade dvoch súčasných spojení sa prenosová rýchlosť rozdelí medzi tieto spojenia ako je možné pozorovať na [obrázku 7.6](#). V priebehu prvého spojenia sa zostavuje ďalšie a prenosová rýchlosť spojenia klesá zhruba na polovicu. Súčet prenosových rýchlostí oboch spojení presahuje pôvodnú hodnotu prvého spojenia, čo môže byť spôsobené úsporou režijných dát pre druhé spojenie. Toto meranie prebehlo v sieti s technológiou HSDPA.



Obr. 7.6: Dva súčasné prenoso download

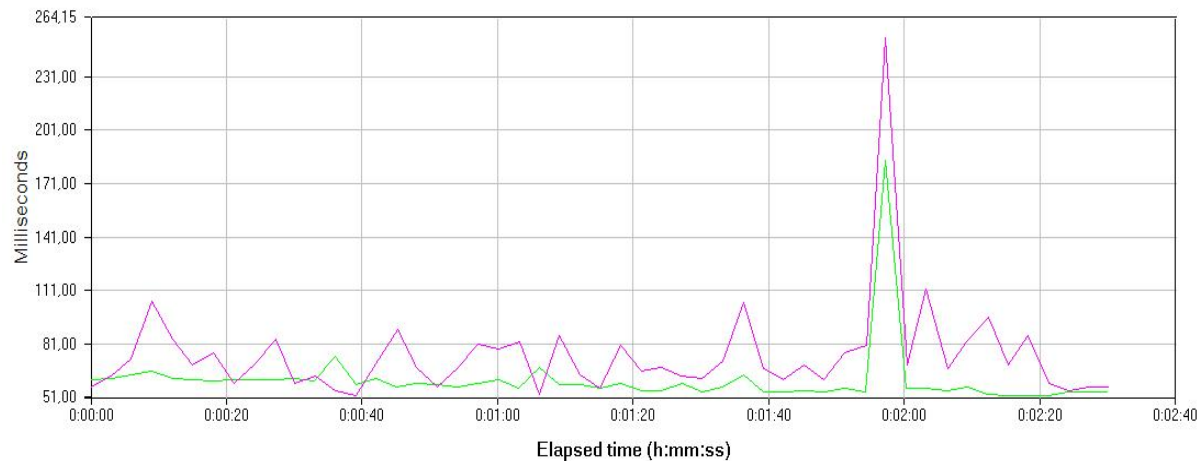
Nasledujúce výsledky sú získané pri meraní vlastností spojenia služby VoIP. Program IxChariot poskytuje možnosť merania množstva parametrov, čo sa najviac prejavilo pri meraní VoIP. V prípade hlasovej služby nie je prenosová rýchlosť rozhodujúcim parametrom a preto sú uvádzané významnejšie a to oneskorenie a priamo hodnota kvalitatívneho parametru MOS (Mean Opinion Score). Ako prvý bude je uvedené spojenie s použitím kódovania typu G729. Priemerná hodnota parametru MOS bola pre jednotlivé smery spojenia takmer rovnaká a to 3,77. Maximálna hodnota bola 3,88 a minimálna 3,31. Presný priebeh je možné sledovať na [obrázku 7.7](#). Dôležitý údaj z ktorého sa určuje hodnota MOS je oneskorenie. Úroveň oneskorenia end-to-end dosiahla pre jednotlivé smery spojenia 122 ms a 154 ms. Graf priebehu oneskorenia je zhotovovaný programom IxChariot iba vo variante one-way delay a preto sú údaje na [obrázku 7.8](#) zhruba polovičné. Množstvo prenesených dát za sekundu, vypovedá o kompresnom pomere použitej kódovacej metódy. Preto je uvedený skôr na doplnenie predstavy ([obr.7.9](#)) o možnom kolísaní rýchlosti a z toho vyplývajúcom kolísaní oneskorenia.

MOS Estimate



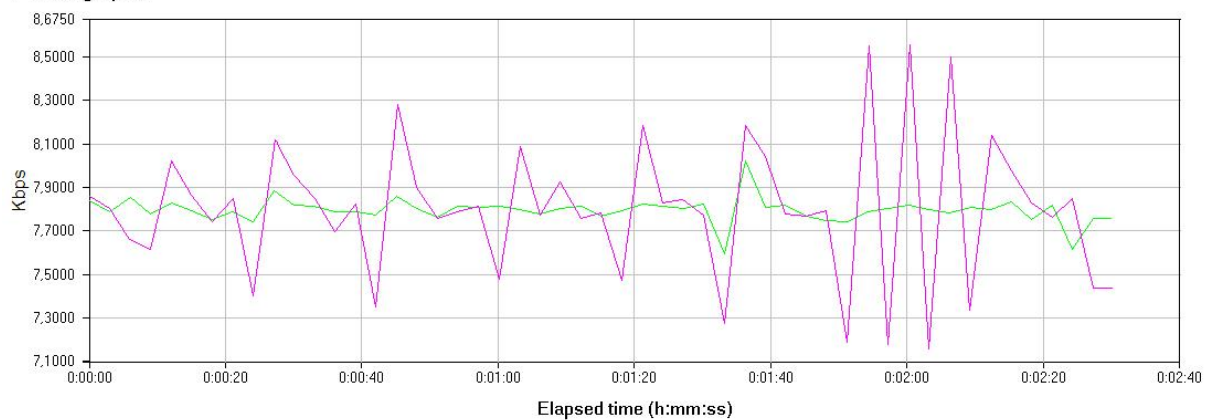
Obr. 7.7: Parameter MOS pre spojenie VoIP - G729

One-Way Delay



Obr. 7.8: Oneskorenie pri VoIP - G729

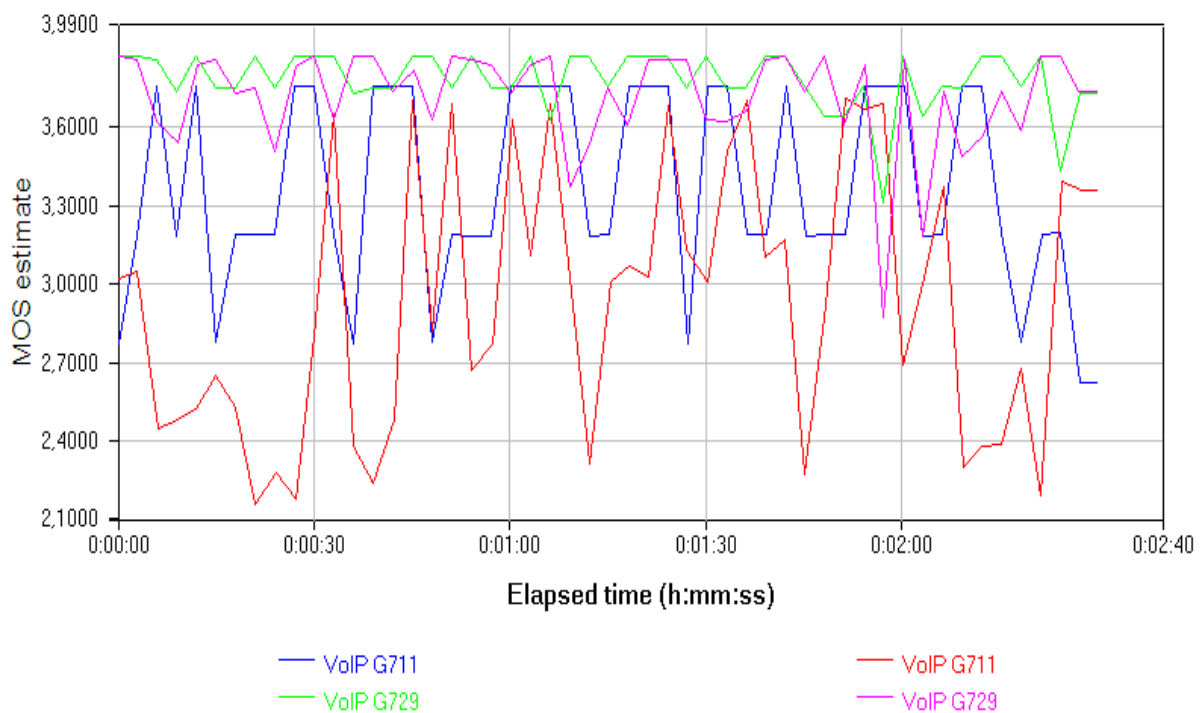
Throughput



Obr. 7.9: Prenos hovorových dát VoIP - G729

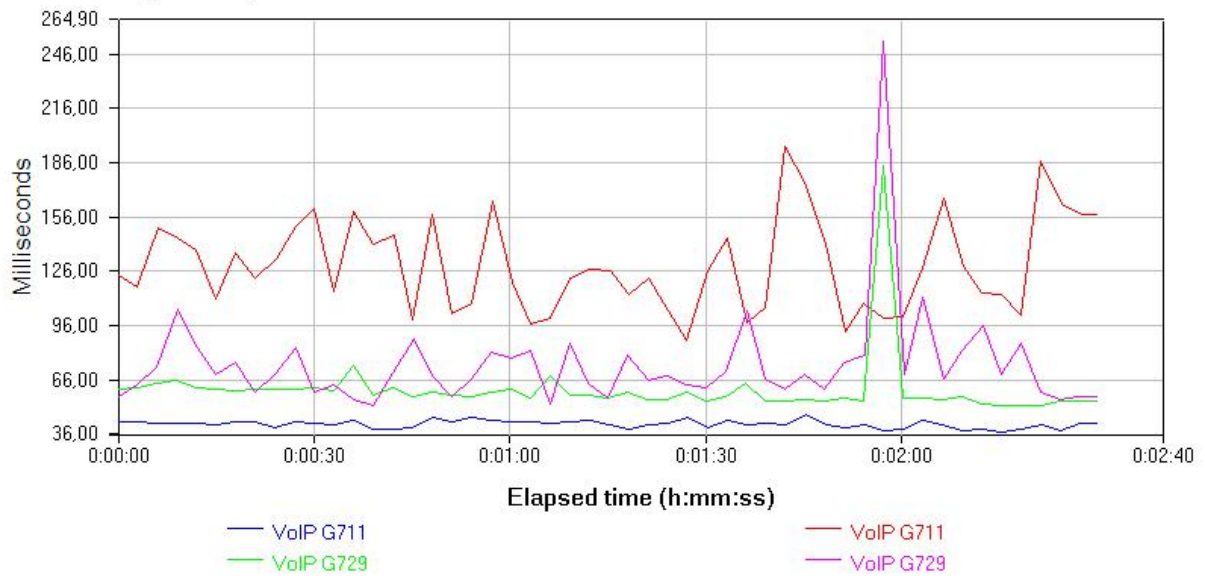
Dôležitosť výberu vhodného spôsobu kódovania je najlepšie uviesť na príklade, ktorý je znázornený na nasledujúcich obrázkoch. Porovnanie dvoch systémov G711 a G729 hovorí jasne v prospech mladšieho z rodiny štandardov G7xx. Vo všetkých meraných parametroch dosahuje výrazne lepšie výsledky. U parametru MOS by bolo zavádzajúce hovoriť o priemernej hodnote v prípade G711 z dôvodu veľkých prepadov až o 1,5 bodu. Z grafu na [obrázku 7.10](#) je zrejma nepoužiteľnosť tejto metódy pre mobilné siete. G729 sa pohybuje až okolo hodnoty 3,8 na stupnici MOS. Pri oneskorení je veľká nerovnomernosť medzi jednotlivými kanálmi G711, čo sa u G729 nevyskytuje. Hodnota oneskorenia end-to-end pri použití G729 je na úrovni 130 ms pre obidva kanály. Porovnať túto hodnotu s kanálmi G711 je možné na [obrázku 7.11](#). Pri meraní prenesených dát sú výsledky súmerné viz [obr.7.12](#). Kódovanie G711 dosahuje teoretickej hodnoty a to zhruba 64 kbit/s a v prípade G729 je to hodnota okolo 7,1 kbit/s. Čo hovorí jasne pre G729 z dôvodu úspory šírky pásma.

MOS Estimate



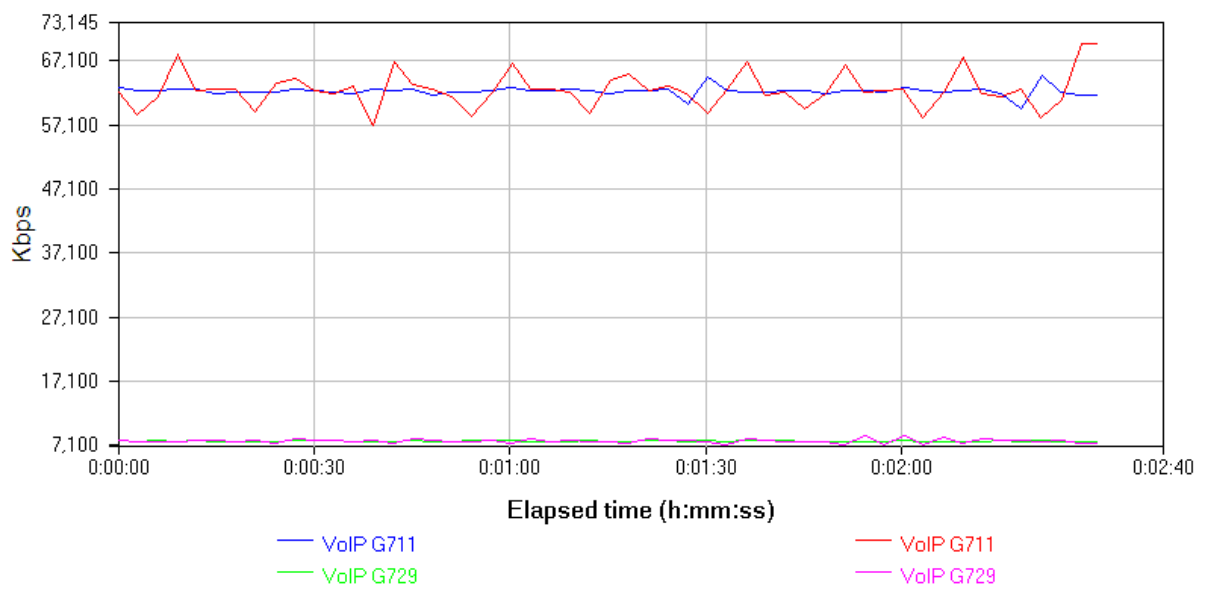
Obr. 7.10: Parameter MOS pre VoIP G711 a G729

One-Way Delay



Obr. 7.11: Priebeh oneskorenia pre VoIP G711 a G729

Throughput



Obr. 7.12: Prenosová rýchlosť VoIP G711 a G729

Ovplyvnenie výsledkov použitou metódou

Pre meranie pomocou IxChariot bolo nutné zadať IP adresy oboch zariadení. Toto bolo zaistené použitím programu Hamachi na vytvorenie virtuálnej siete LAN. V tejto sieti figurovali obidva uzly pod svojou IP adresou, ktorá im bola priradená programom. Skreslenie výsledkov mohlo spôsobiť skutočnosť, že celá komunikácia bola prepájaná cez obsluhujúci server Hamachi. Z toho dôvodu bolo uskutočnené meranie na určenie vplyvu použitej metódy. Z dvoch meraní bez použitia Hamachi sa získali hodnoty ([obr.7.13](#)), z ktorých vyplýva, že meranie s použitím Hamachi dosiahlo priemernú hodnotu z oboch meraní. Preto môžeme vplyv použitej metódy považovať za zanedbateľný.

Group/ Pair	Average (Kbps)	Minimum (Kbps)	Maximum (Kbps)	Relative Precision
<i>hamachi.tst</i>	3,898	2,711	5,018	3,109
<i>no_hamachi.tst</i>	5,099	3,379	6,300	2,533
<i>no_hamachi_1.tst</i>	4,385	2,578	5,996	3,709

Obr. 7.13: Porovnanie výsledkov spojení

8. POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIE A MERANÍ V REÁLNEJ SIETI

Programové prostredie Opnet Modeler 14.5 pochopiteľne neobsahuje všetky faktory, ktoré ovplyvňujú spojenie v reálnej sieti. Aj napriek tomu sú výsledky porovnateľné. Najdôležitejšie vlastnosti spojenia pre VoIP, službu citlivú na kvalitatívne parametre siete je oneskorenie. Oneskorenie v simulovanej sieti sa pohybovalo na úrovni 180 ms a v reálnej sieti pri použití G729 na úrovni 130 ms. Reálna sieť dosiahla lepší výsledok, ale oneskorenie stále nedosiahlo optimálnu hodnotu. Okrem oneskorenia má na výslednú hodnotu parametru MOS aj stratovosť paketov. Straty okolo 3% u G729 spôsobia zníženie hodnoty o 0,5 bodu. Kvalita je následne porovnateľná s kódovaním GSM. Výsledná známka MOS pre spojenie v reálnej sieti bola 3,77. To odpovedá rozhraniu medzi stupňami veľa užívateľov nespokojných a niektorí užívatelia nespokojní. Ani jeden tento stupeň nemôžeme považovať za dostačujúci a z toho vyplíva nevhodnosť použitia VoIP v súčasných mobilných sieťach. V prípade prenosu dát, ktoré nie sú citlivé na oneskorenie, boli výsledky uspokojivé. Prenosové rýchlosti sa blížili teoretickým hodnotám pre merané siete. UMTS dosiahlo rýchlosť 281 kbit/s a s vylepšením HSDPA rýchlosť 761 kbit/s. V prípade simulovanej siete sa nedá dosiahnuť jednoznačné číslo. Výsledná hodnota závisí na maximálnej rýchlosti nastavenej pre daný kanál. V prípade nastavenia maxima na 200 kbit/s to bolo 140 kbit/s a v prípade nastavenej 250 kbit/s odpovedajúcich 200 kbit/s.

9. ZÁVER

Táto práca je venovaná problematike bezdrôtových sietí a to konkrétne technológii UMTS. Obsahom práce je stručný úvod do problematiky bezdrôtových sietí, čo zahŕňa prehľad technológií od sietí 1.generácie až po súčasnú situáciu. Podrobnejšie je rozobraté UMTS a siete 3.generácie aj s výhľadom do budúcnosti. Následne sú rozpracované teoretické časti zadania a to popis uzlov siete UMTS v programe Opnet Modeler v 14.5 a porovnanie špecifikácie uzlu Node-B podľa organizácie 3GPP a v programe Opnet Modeler v 14.5. Popis práce v programovom prostredí Opnet Modeler v 14.5 je úvodom k rozboru vlastnej simulácie a jej výsledkov.

Simulácia bola zameraná na realizáciu služby citlivej na kvalitatívne parametre jej ovplyvnenie dátovými službami bežiacimi na pozadí. Ako základ bola zvolená služba VoIP, u ktorej som sledoval oneskorenie a skreslenie prenášaných dát. Dátové služby na pozadí som zvolil FTP, http a email, ktoré predstavujú najčastejšie používané služby súčasnosti. V sieti bol použitý profil QoS a preto dáta všetkých služieb na pozadí neovplyvnili službu VoIP. Služby na pozadí boli doručované systémom Best effort. Oneskorenie hlasovej služby VoIP bolo konštantne na hodnote 0,18 s. Z čoho vyplýva, že je možné pri hovorovej službe súčasne prezerat' internetové stránky, posielat' a prijímat' elektronickú poštu, prípadne sťahovat' súbory.

Veľkým prínosom bola možnosť uskutočniť merania v reálnych sieťach a ich následné porovnanie s výsledkami simulácie. Výsledky získané v reálnej sieti sa blížili k simulovaným a oneskorenie sa pohybovalo na hodnote 130 milisekúnd. Program IxChariot poskytoval možnosť merania kvalitatívneho parametru MOS a jeho priemerná hodnota pre VoIP bola 3,77. Túto hodnotu nemôžeme považovať za dostačujúcu. Prenosové rýchlosti sa blížili teoretickým hodnotám pre merané siete.

POUŽITÁ LITERATÚRA

[1] CASTRO, J.P. All IP in 3G CDMA Networks. John Wiley & Sons, ISBN 0-470-85322-0, UK, 2004

[2] PÉREZ-ROMERO, Jordi, et al. *Radio resource management strategies in UMTS*. [s.l.] : John Wiley & Sons, Ltd, c2005. 364 s. ISBN 10 0-470-022.

[3] HOLMA, Herri, TOSKALA, Antti. *WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communacitions*. [s.l.] : John Wiley & Sons , Ltd, c2004. 481 s. Third Edition. ISBN 0-470-87096-6.

[4] CASTRO, Jonathan P. *The UMTS Network and Radio Access Technology*. [s.l.] : John Wiley & Sons, Ltd, c2001. 383 s. ISBN 0 471 81375 3.

[5] Opent Modeler 14.5 documentation

[6] *3gpp.org* [online]. 1998 , 2008 [cit. 2008-11-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.3gpp.org/>>.

[7] *IxChariot.com* [online]. 1.408.200.4446. Ixia, c2009 [cit. 2009-05-15]. Dostupný z WWW: <www.ixchariot.com>.

ZOZNAM SKRATIEK

ATM	Asynchronous Transport Mode
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CPCH	Common Packet Chanel
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FACH	Frequency Access Chanel
FDD	Frequency Division Duplex
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Supporting Node
GPRS	General Packet Radio System
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISDN	Integrated Services Digital Network
MAC	Medium Access Control
PCPCH	Physical Common Packet Channel
PDP	Packet Data Protocol
PMM	Packet Mobility Management
QoS	Quality of Services
RAB	Radio Access Bearer
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RRC	Radio Resource Control
SGSN	Serving GPRS Support Node
SHO	Soft Handover
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network

ZOZNAM PRÍLOH

A Priložené CD

A Priložené CD

Priložené médium obsahuje: - Elektornickú verziu tejto práce (Bakalárska_práca.pdf)

- Vlastnú simuláciu spustiteľnú v programe Opnet Modeler 14.5
(umts_ftpVoIP_QoS.prj)