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

POSOUZENÍ VLIVU PARAMETRŮ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ UMTS NA VÝKONNOST SÍTĚ PROSTŘEDNICTVÍM SIMULAČNÍHO PROSTŘEDÍ OPNET MODELER

EVALUATION OF INFLUENCE OF UMTS RADIO ACCESS NETWORK PARAMETERS ON NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE ZBYNĚK KONEČNÝ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. ing. VÍT NOVOTNÝ Ph.D
SUPERVISOR

BRNO 2009

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student:	Zbyněk Konečný	***ID:***	100277
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Posouzení vlivu parametrů přístupové sítě UMTS na výkonnost sítě prostřednictvím simulačního prostředí Opnet Modeler

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s možnostmi simulace sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler. Porovnejte věrnost modelování s fungováním skutečné sítě UMTS. Zaměřte se na přístupovou část sítě UMTS a rozeberte parametry jednotlivých prvků, jako UE, Node-B a RNC. Posuďte vliv těchto parametrů na výkonnost sítě. Na vytvořeném modelu sítě UMTS simulujte několik typů provozu s různými kvalitativními požadavky a při různém nastavení parametrů jednotlivých prvků modelu UMTS posuďte jejich vliv na kvalitu jednotlivých služeb. Najděte optimální konfiguraci pro danou skladbu provozu. Na základě výsledků navrhněte 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 documentation. www.opnet.com, 2009

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 práve 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.

Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o testování vlivu různých parametrů a jejich následném efektu na chování celé přístupové sítě UMTS. Jednotlivé simulace budou prováděny v programu Opnet Modeler, který slouží k testování sítí založených na přepínání paketů. Cílem této práce je co nejvíce zefektivnit provoz UMTS sítí. Jelikož síť UMTS využívá sdílené radiové prostředí pro všechny uživatele poblíž jednoho vysílače, je tedy celková kapacita jedné buňky závislá na velikosti rušení produkovaných mobilními terminály v dané buňce. Zvýšení kapacity buňky se mimo jiné dá dosáhnout správně zvoleným handoverem. První část této práce se tedy bude zabývat různými typy handoveru a jejich vlivem na provoz sítě. V dnešní době se již klade velký důraz na paketovou komunikaci prostřednictvím mobilních sítí, proto bude v druhé částí této práce provedena simulace datového provozu UMTS sítě. Bude simulováno chování jednotlivých aplikací bez použití QoS. Dále pak budou dané aplikace přiřazeny do jednotlivých kvalitativních tříd a bude porovnána kvalita provozu se simulací bez použití QoS. Na závěr této práce byla navrhnuta laboratorní úloha, která by měla studenty částečně seznámit s datovým provozem v UMTS síti, a to prostřednictvím simulačního nástroje Opnet Modeler.

Klíčová slova: UMTS, QoS, handover, Opnet Modeler, WCDMA , přístupová síť, Node B, RNC, UE

Abstrakt

This bachelor thesis deals with testing the effect of various parameters and their subsequent influence on the operation of the entire UMTS access network. Each simulation will be implemented in Opnet Modeler, which is used for network testing based on packet switching. The aim of this work is the most effective operation of UMTS networks. Since the UMTS network uses a shared radio environment for all users close to one transmitter, the total capacity of one cell is dependent on the size of interference produced by mobile terminals in the cell. Increasing the capacity of cells can be done by properly elected handover. The first part of this work will therefore concern different types of handovers and their impact on the network operation. Nowadays communication through mobile packet networks is becoming more and more important and that is why the second part of this work will focus on the simulation of traffic UMTS networks. It will be simulated by the behavior of individual applications without the use of QoS. Then the application will be assigned to different quality classes and the quality of service will be compared with simulations without using QoS. The conclusion of this work will contain laboratory work, which should partly make the students familiar with the data traffic in the UMTS network through a simulation program – Opnet Modeler.

Keywords: UMTS, QoS, handover, Opnet Modeler, WCDMA, access network, Node B, RNC, UE

KONEČNÝ, Z. *Posouzení vlivu parametrů přístupové sítě UMTS na výkonnost sítě prostřednictvím simulačního prostředí Opnet Modeler*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 65 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Posouzení vlivu parametrů přístupové sítě UMTS na výkonnost sítě prostřednictvím simulačního prostředí Opnet Modeler“ 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 této práce 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

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D. za odbornou a metodickou pomoc a za čas mně a mé práci věnovaný.

V Brně dne ....

podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků ... 10
Úvod ... 12
1 Vývoj mobilních sítí ... 13
1.1 0-tá generace ... 13
1.2 1. generace ... 13
1.3 2. generace ... 14
1.4 2,5-tá generace ... 14
2 Síť 3. generace - UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) ... 16
2.1 Struktura UMTS sítě ... 17
2.1.1 UTRAN ... 17
2.1.2 CN (Core Network) ... 18
2.2 Přístupová metoda v síti UMTS ... 20
2.2.1 DS-WCDMA ... 21
2.3 Rozprostření spektra ... 21
2.3.1 Kódy ... 22
2.4 Handover ... 23
2.4.1 Softer handover ... 23
2.4.2 Soft handover ... 24
2.4.3 Hard handover ... 25
2.4.4 Přijímač RAKE ... 25
2.4.5 Řízení výkonu ... 26
2.5 QoS (Quality of service) ... 27
2.5.1 Konverzační třída ... 27
2.5.2 Streamovací třída ... 28
2.5.3 Interaktivní třída ... 28
2.5.4 Třída služeb na pozadí ... 28
3 Opnet Modeler ... 29
3.1 Project editor ... 29
3.2 Node editor ... 30
3.3 Process editor ... 31
4 Simulace v prostředí Opnet Modeler ... 32
4.1 Konfigurace parametrů jednotlivých částí modelů pro Handover ... 32
4.1.1 Konfigurace Profile config ... 32
4.1.2 Konfigurace Application config ... 33
4.1.3 Konfigurace RNC ... 34
4.1.4 Konfigurace UE a FTP serveru ... 35
4.1.5 Konfigurace Node B ... 35
4.2 Handover ... 36
4.2.1 Softer handover ... 38
4.2.2 Soft handover ... 40
4.2.3 Hard handover ... 44
4.3 Konfigurace parametrů jednotlivých částí modelů pro použité aplikace ... 46
4.3.1 Konfigurace TCP vrstvy ... 46
4.3.2 Konfigurace RNC ... 47
4.3.3 Konfigurace UE ... 47
4.3.4 Konfigurace Application config ... 48
4.3.5 Konfigurace Profile config ... 50

4.3.6 Konfigurace Serverů a Node B 52
4.4 Aplikace FTP 52
4.5 Aplikace HTTP 54
4.6 Aplikace VoIP 55
4.7 provoz sítě bez podpory QoS 57
4.8 Provoz sítě s podporou QoS 59
5 Závěr 62
Použitá literatura 64
Seznam zkratek 65
Seznam příloh 67

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Architektura sítě UMTS ... 17
Obr. 2.2 Struktura sítě ... 18
Obr. 2.3 Struktura celé UMTS sítě společně s GSM/GPRS sítí ... 20
Obr. 2.4 Princip softer handoveru ... 23
Obr. 2.5 Princip softer handoveru ... 24
Obr. 2.6 Princip hard handoveru ... 25
Obr. 3.1 Schéma Projekt editoru ... 30
Obr. 3.2 Schéma Node editoru 3 sektorového Node B ... 30
Obr. 3.3 Schéma Process editoru ... 31
Obr. 4.1 Komponenty simulované sítě ... 32
Obr. 4.2 Konfigurace Profile config ... 33
Obr. 4.3 Konfigurace Application config ... 34
Obr. 4.4 Konfigurace RNC ... 34
Obr. 4.5 Konfigurace UE ... 35
Obr. 4.6 Konfigurace Node B ... 36
Obr. 4.7 a) Zjištění směrovosti antén, b) zjištění dosahu signálu s výkonem 0,5 W ... 37
Obr. 4.8 Graf vysílacího výkonu ... 37
Obr. 4.9 Scénář softer handoveru ... 38
Obr. 4.10 Buňky přidané a odebrané z aktivní sady při softer handoveru ... 39
Obr. 4.11 Propustnost ve směru downlink při softer handoveru ... 40
Obr. 4.12 Scénář soft a hard handoveru ... 41
Obr. 4.13 Buňky přidané a odebrané z aktivní sady při soft handoveru ... 42
Obr. 4.14 Propustnost ve směru downlink při soft handoveru ... 43
Obr. 4.15 Buňky přidané a odebrané z aktivní sady při hard handoveru ... 44
Obr. 4.16 Propustnost ve směru downlink při hard handoveru ... 45
Obr. 4.17 Konfigurace TCP vrstvy ... 46
Obr. 4.18 Konfigurace RNC ... 47
Obr. 4.19 Konfigurace UE_ftp a UE_http ... 48
Obr. 4.20 Konfigurace Application config pro UE_ftp ... 49
Obr. 4.21 Konfigurace Application config pro UE_http ... 50
Obr. 4.22 Konfigurace Application config pro UE_VoIP ... 50
Obr. 4.23 Konfigurace Profile config pro UE_ftp ... 51
Obr. 4.24 Scénář pro FTP aplikaci ... 53
Obr. 4.25 Komunikace mezi FTP_Serverem a UE_FTP ... 53
Obr. 4.26 TCP spojení, doba přenosu souboru a velikost souboru ... 54
Obr. 4.27 HTTP odezva, přijatá data na straně klienta ... 55
Obr. 4.28 Scénář pro VoIP aplikaci ... 56
Obr. 4.29 Komunikace mezi VoIP klienty a časové zpoždění hovoru ... 56
Obr. 4.30 Scénář pro prezentaci QoS ... 57
Obr. 4.31 Provoz sítě bez podpory QoS ... 58
Obr. 4.32 VoIP komunikace bez požití QoS ... 59
Obr. 4.33 Provoz sítě s podporou QoS ... 60
Obr. 4.34 VoIP komunikace s použitím QoS ... 61
Obr. A.1 Vysílaný výkon FACH od UE při softer handoveru ... 68
Obr. A.2 Vysílaný výkon FACH od UE při soft handoveru ... 68
Obr. A.3 Vysílaný výkon FACH od UE při hard handoveru ... 69
Obr. A.4 Průměrný vysílací výkon FACH pro soft a hard handover ... 69
Obr. C.1 Struktura sítě ... 72

Obr. C.2 Struktura celé UMTS sítě společně s GSM/GPRS sítí 74
Obr. C.3 Scénář: VOIP a FTP_best_efford 76
Obr. C.4 Scénář: HTTP_FTP_VOIP 78

ÚVOD

Mobilní sítě jsou v současné době jednou z nejvíce se rozvíjejících oblastí telekomunikací. Konkrétně síť UMTS(Universal Mobile Telecommunicatons System) měla 6.října 2008 již kolem 300 milionů uživatelů. Proto je nyní aktuální se zabývat problematikou optimalizací této sítě. Je zapotřebí vyvážit potřebu poskytovatele UMTS sítě a také uspokojit uživatele. Je nutnost co nejvíce zefektivnit fungování této sítě, což se potom odrazí na nákladech provozovatele a také na ceně služeb pro uživatele. Cílem této práce je seznámit se s problematikou mobilních sítí, a sice s paketovou částí sítě UMTS. Na začátku se pokusím shrnout vývoj předchůdců sítě UMTS a popíšu zde jejich hlavní rysy a parametry. Dále se již budu zabývat sítí UMTS, nejdříve rozeberu přístupovou část sítě UTRAN (Terrestrial Radio Access Network), kde objasním funkci jednotlivých bloků. V další části se zaměřím na jádro sítě CN, kde budou popsány příslušné funkční části. Jako další bod vysvětlím používané přístupové metody a také rozprostírací kódy. Potom se již pustím do jednoho z parametrů rádiové přístupové sítě a tím je handover. Postupně vysvětlím princip funkce základních druhů handoveru. V další části se budu věnovat popisu simulačního prostředí a následné simulaci jednotlivých parametrů v Opnet Modeleru. Simulační prostředí Opnet Modeler slouží k detailní simulaci sítí, jejichž funkce je založena na komutaci paketů. V první části budou odsimulovány tři druhy handoveru. V druhé části bude modelováno různé zatížení sítě různým počtem uživatelů, u kterých budou měněny kvalitativní parametry a přitom bude sledována propustnost sítě. V poslední fázi bude snaha o optimalizace sítě, aby pracovala co nejefektivněji. Ke všem simulacím budou přiloženy náležité grafy, kde bude vše vysvětleno a porovnáno s teoretickými hodnotami. Student by měl po absolvování tohoto projektu získat ucelený obraz o funkci sítě UMTS a o vlivu jednotlivých parametrů na celou síť.

Zadání mé práce zní „Posouzení vlivu parametrů přístupové sítě UMTS na výkonnost sítě prostřednictvím simulačního prostředí Opnet Modeler“. To znamená, že se budu hlavně věnovat optimalizaci přístupové části sítě UMTS.

1 VÝVOJ MOBILNÍCH SÍTÍ

V minulosti se brala mobilní komunikace jako velký nadstandard. Při hovoru docházelo k častým výpadkům díky nepokrytí celého území rádiovým signálem. Telefonní terminály byly značně velké a neskladné a bylo nutno často nabíjet baterie. V dnešní době se mobilita účastníka bere jako standard a jsou kladeny stále větší požadavky na funkce mobilní sítě. S rostoucím rozvojem paketových sítí a se zvyšujícími se rychlostmi datové komunikace se požaduje, aby tato komunikace byla začleněna do mobilních sítí, což se zatím poměrně daří. Mobilitu odstartovala síť 0-té generace.

1.1 0-TÁ GENERACE

Mobilní sítě označované jako sítě 0-té generace používaly analogovou podobu komunikace. Z 0-té generace vychází síť ARP (název Autoradiopuhelin pochází z finštiny, česky: radiotelefon do auta). Byla to buňková síť, která pracovala na kmitočtu 150 MHz. Nedocházelo zde k handoveru, pokud účastník přejížděl z jedné buňky do druhé, spojení se přerušilo. Terminály v této době byly velmi velké, používaly se hlavně v autech. Přenosový výkon byl asi kolem 5 wattů, což značně zatěžovalo baterii. Dosah jedné buňky byl kolem 30km. Používal se poloduplexní přenos, když jeden účastník mluvil, druhý naslouchal, a naopak. Funkce byla podobná jako princip vysílačky. Přenos byl realizován analogově a nebyl žádným algoritmem kódován (značná jednoduchost odposlechu). Tato síť byla nejdříve přepínána ručně v malých ústřednách, později bylo vše automatizováno.

1.2 1. GENERACE

Mobilní sítě označované jako sítě 1. generace byly stále analogové. Patřila sem hlavně síť NMT 450 a NMT 900, číslo za názvem je kmitočtová oblast používaného pásma v MHz. Tato síť používala buňkový systém. Velikost buňky byla od 2 km do 30 km, menší buňky byly schopny obsloužit více uživatelů na stejné ploše. Zde již docházelo k předávání účastníka mezi buňkami. Byl zde použit frekvenční multiplex, každé pásmo bylo rozděleno na 180 kanálů s šířkou pásma 25 kHz.

pro NMT 450 pásma:

- směr mobilní terminál - základnová stanice (uplink) použité kmitočtové pásmo 453 - 457,5 MHz
- směr základnová stanice - mobilní terminál (downlink) použité kmitočtové pásmo 463 – 467,5 MHz

Telefonní terminály byly nejdříve použity v autech. Postupem času se zmenšily na velikost kolem 100 mm. Přenosový výkon v autech byl 5 až 15 wattu, u ručních přístrojů se výkon pohyboval kolem 1 wattu. První varianty NMT nebyly nijak zabezpečeny proti odposlechu, ale v roce 1999 bylo zavedeno analogové skramblování, což do jisté míry informaci zakódovalo. Nevýhodou bylo, že toto skramblování musela podporovat jak základnová stanice tak telefonní přistroj. Avšak pokud ji podporovaly oba telefonní přístroje, základnová stanice by ho podporovat nemusela. Byl zde podporován první přenos dat DMS (Data and Messaging Service) zprostředkovaný signalizačním kanálem. Byla to dnešní obdoba SMS, ale příliš se neujala.

1.3 2. GENERACE

Pod označení mobilní sítě 2. generace patří mobilní sítě pracující na digitálním principu. Hlavním zástupcem je technologie GSM (Globální Systém pro Mobilní komunikaci). Tato síť používá buňkový systém, a to tak, že pomoci frekvenčního multiplexu jsou jednotlivé buňky od sebe odděleny. Přidělené frekvenční pásmo je rozděleno pomocí frekvenčního multiplexu na menší pásma, která jsou přidělena jednotlivým buňkám. Stejné frekvenční pásmo může být použito i vícekrát, ale jen v určité vzdálenosti od sebe tak, aby nedocházelo k interferencím signálů. Buňky v GSM se dělí na různé typy podle velikosti: makro, mikro, piko a deštníkové buňky. Makro buňky mají vysílače na vysokých stožárech a pokrývají největší oblast. Mikro buňky pokrývají menší oblasti, převážně městskou zástavbu. Piko buňky se používají hlavně v budovách atp. Deštníkové buňky jsou tzv. vykrývače, poskytují signál tam, kde není možné pokrytí jinými buňkami. Průměr buňky u BTS může být až 70 km v případě, že je BTS umístěna uprostřed buňky. Pokud se jedná o sektorové buňky, je jejich průměr 35 km. Jak bylo uvedeno, GSM používá frekvenční i časový multiplex. Základní 3 pásma jsou 900,1800 a 1900MHz.

- Pro GSM 900 se používá pásmo: pro uplink 890-915 MHz, pro downlink 935-960 MHz. Pomocí FDMA je šířka pásma 25 MHz rozdělena do 124 kanálů o šířce 200 kHz.
- Pro GSM 1800 se používá pásmo: pro uplink 1710-1785 MHz, pro downlink 1805-1880 MHz. Zde je pomocí FDMA šířka pásma rozdělena na 374 kánálů také po 200 kHz.
- Pro GSM 1900 se používá pásmo: pro uplink 1850-1910 MHz, pro downlink 1930-1990 MHz. Zde je pomocí FDMA šířka pásma rozdělena na 299 kanálů o šířce 200 kHz.

Každý frekvenční kanál je navíc rozdělen pomoci TDMA (časový multiplex) do 8 timeslotů, což znamená, že pokud v pásmu 900MHz máme 124 kanálů, tak pomocí TDMA je teoreticky možno ve stejnou dobu obsloužit 124 x 8 = 992 telefonních hovorů, což je v praxi nemožné, protože řada kanálu je použita pro jiné služby, jako je například signalizace. Telefonní terminály jsou zde již velmi malé s celou řadou přídavných služeb a funkcí, např. SMS, MMS přehrávání videa i audia (Mp3). Maximální výkon mobilního terminálu je asi 2 W, byly také definovány typy stanic i s vyšším vysílacím výkonem. Data jsou chráněna proti odposlechu šifrováním. Jak již bylo řečeno, s rozvojem paketových sítí byl kladen nátlak na implementaci paketové sítě do okruhově spínané mobilní sítě. Nejdříve se používalo CSD (Circuit Switched Data), které bylo zahrnuto v GSM standardu Release 97. Zde účastník, který chtěl přenášet data, dostal vyhrazený kanál, který obsadil sám. Tento kanál již nebyl přístupný jiným účastníkům stejně tak jako u telefonního hovoru. Tyto datové přenosy byly placeny za dobu připojení, bylo to nevýhodné, protože uživatel nedokáže využít plnou šířku pásma po celou dobu relace. Řešení přinesla až podpora paketového způsobu komunikace v podobě sítě GPRS.

1.4 2,5-TÁ GENERACE

Přenosová rychlost se dá zvyšovat zvětšením šířky pásma, zavedením vícestavových modulací či snižováním úrovně zabezpečení dat (snížení počtu zabezpečujících bitů v datovém bloku), ovšem za předpokladu lepších podmínek přenosu. Je to reálné pro stanice poblíž BTS (základnové rádiové stanice), kde není třeba takového zabezpečení proti chybám. Na jednom logickém kanále je potom umožněna rychlost až 14,4 kb/s. Tuto techniku využívá

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). U této technologie se dá dosáhnout maximální rychlosti sdružením 4 timeslotů až 57,6 kb/s.

S nástupem GPRS (General Packet Radio Services) pro přenos dat není třeba trvale přidělený rádiový kanál, ale vysílání a přijímání probíhá v paketech. Díky tomuto se rádiové spektrum GSM daleko efektivněji využije (účastníci sdílejí určité pásmo dohromady a data přenáší pouze když jsou odeslána). Pro přenos dat dokáže jedno zařízení využít více timeslotů, ty jsou rozděleny na upload a download. Nejvyšší rychlost při využití více timeslotů je až 171,2 kb/s. Implementace do stávající sítě GSM spočívá v přidání dalších bloků, které zajistí návaznost na IP sítě.

Dalším nástupcem je EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution). Díky nové modulaci 8-PSK nabízí EDGE vyšší rychlost než má GPRS, a to sice při využití 8 timeslotů dosahuje rychlost až téměř 384 kb/s. Využití této technologie již ale znamená změnu hardwarového řešení řady částí GSM.

U paketových přenosů v síti 2,5-té generace účastník již neplatí za dobu připojení, ale za množství stažených dat.

2 SÍŤ 3. GENERACE - UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATIONS SYSTEM)

UMTS je standard 3G mobilních sítí. Je to plnohodnotný nástupce sítě GSM s velkou změnou. Technologie GSM byla založena na přepínání okruhů. Podpora paketového způsobu komunikace byla přidána v podobě GPRS až o několik let později. UMTS řeší svou síť tak, že přepínání okruhů a přepínání paketů je na stejné úrovni. UMTS je standardizován organizací 3GPP a je plnohodnotným světovým standardem, který splňuje požadavky ITU IMT-2000 pro mobilní buňkové systémy 3. generace. Díky síti 2,5-té generace byl přechod značně zjednodušen, stačilo přidat další bloky do již existující struktury sítě GSM. Velkou změnou bylo vybudování nové přístupové sítě založené na násobném přístupu pomocí metody CDMA (Code Division Multiple Access). Systémy GSM a UMTS by měly být navzájem kompatibilní. Pokrytí službou UMTS bude postupně navazovat na stávající GSM, protože zatím je stále prioritou využívat hlasové služby na principu komutace okruhů. Do budoucna je ovšem snaha, aby veškerá komunikace probíhala po IP sítích.

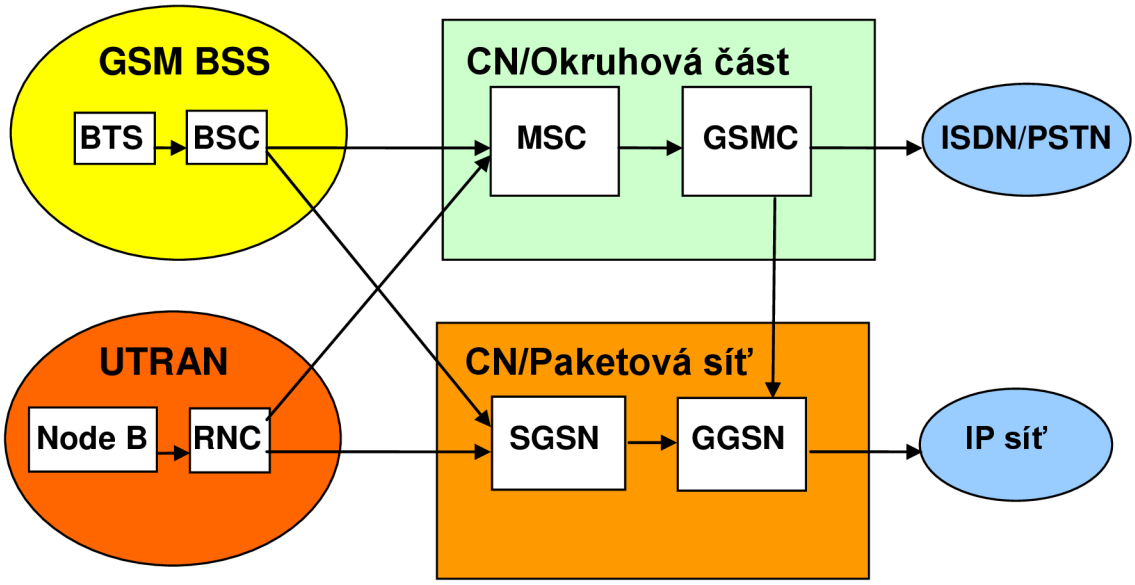
Přehled plánovaných služeb v UMTS

- hovorové služby
- přístup na mail
- přístup na internet
- data services – možnost rychlých datových přenosů
- video na vyžádání
- audio na vyžádání
- video konference - možnost pořádání video konferencí prostřednictvím počítače
- hry na vyžádání
- video telefonie
- online dopravní kamery – možnost sledování dopravních kamer
- data services – možnost rychlých datových přenosů

UMTS se skládá ze dvou částí :

- přístupová síť UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access network)
- páteřní síť CN (Core Network)

Architektura sítě UMTS je vidět na Obr. 2.1.



Obr. 2.1 Architektura sítě UMTS

2.1 STRUKTURA UMTS SÍTĚ

GERAN je přístupová síť, která umožňuje účastníkovi připojit se na jádro sítě CN(Core Network). GERAN může mít mnoho podob, mohou zde fungovat jako medium sítě GSM nebo DECT nebo dva nové standardy vytvořené pro UMTS, a to sice UTRAN (pozemní síť) a potom USRAN (satelitní síť). Dále se budeme bavit o UTRAN, protože USRAN se zatím nepoužívá.

2.1.1 UTRAN

UTRAN tvoří rádiovou pozemní přístupovou síť technologie UMTS. Je tvořen subsystémem základových stanic RNS (Radio Network Subsystem). Každý subsystém obsahuje jeden RNC (Radio Network Controller), který je připojen přes rozhraní Iu přímo do páteřní sítě CN.

RNC (Radio Network Controller)

Každý RNC kontroluje a obsluhuje jeden nebo více stanic Node B. RNC je obdobou BSC v síti GSM a řídí procesy probíhající v rádiovém prostředí. RNC sleduje mobilitu jednotlivých účastníků a následně vyhodnocuje případné přepojování mezi Node B (handover), dále řídí přidělování jednotlivých kanálů, přidělování kódů, řízení výkonů, makrodiverzitu a šifrování.

Node B

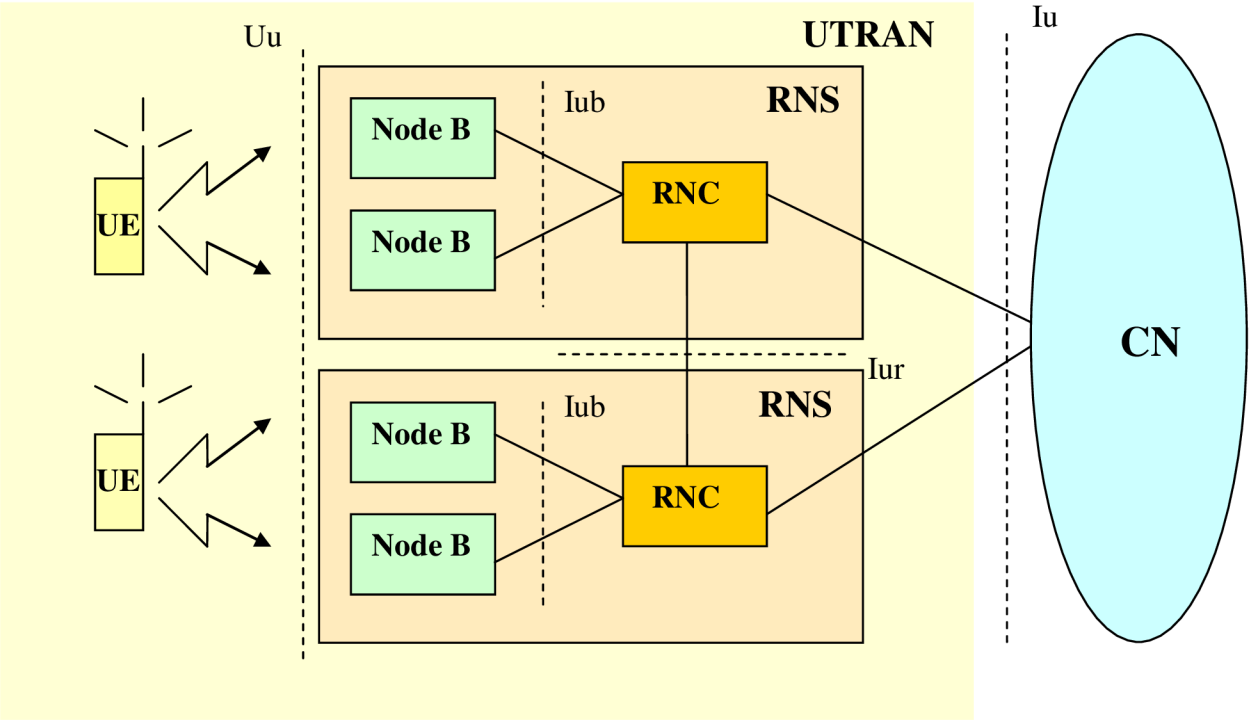
Název Node B je odvozen ze slova Node jako uzel IP sítě a B znamená base. Tato základnová stanice obsahuje vysílače a přijímače rádiového signálu. Jeden vysílač přitom může mít jeden či více anténních systémů, čímž se určuje sektorizace pokryté oblasti. Nejčastěji se využívá 3 sektorová základnová stanice. Tím si Node B rozdělí své okolí do 3

sektorů (buněk) a může tedy obsloužit více zákazníků. Node B se dá brát jako prostředník, který na jedné straně má pevnou síť a na straně druhé má síť rádiovou. Je tedy nutné, aby přizpůsobil data přijatá z rádiového prostředí a předal je dál na metalické vedení. Node B používá přenosový režim WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).

Základní funkce jednotky Node B jsou:

- modulace/demodulace
- vysílání/příjem
- diverzitní příjem
- kódováni CDMA
- řízení výkonu
- ochrana proti chybám

Node B je spojen se svým řídicím uzlem RNC rozhraním Iub. Na druhé straně je spojen s UE (User Equipment) rozhraním Uu. Struktura sítě je zachycena na Obr. 2.2.



Obr. 2.2 Struktura sítě

2.1.2 CN (Core Network)

Jádro obsahuje sadu služeb, které může účastník využívat prostřednictvím dané přístupové sítě, a také tvoří rozhraní k dalším sítím a tedy i službám, které je pak možno využívat, např.: pevná telefonní síť, internet atd. V dnešní době se využívá společné jádro sítě jak pro GSM tak pro UMTS, což značně usnadnilo implementaci UMTS do stávající sítě GSM. Jelikož účastníci mobilní sítě se mohou pohybovat neomezeně po celém světě, musí být systém jádra sítě podstatně složitější než u pevných telefonních sítí. Proto musí být v každé mobilní síti účastník nejdříve lokalizován a identifikován. Až po tom mu mohou být

poskytnuty odpovídající služby sítě. K tomuto rozpoznání používá CN dva hlavní databázové registry, a to sice HLR (Home Location Register – domovský lokační registr) a VLR (Visitor Location Register – návštěvnický lokační registr).

HLR (Home Location Register)

Jak již název napovídá, jedná se o registr, který v sobě má uložené veškeré informace o daném telefonním čísle. Při volbě čísla nejdříve ústředna, ke které je terminál momentálně připojen, překontroluje potřebné údaje k vykonání hovoru (např.: dostatečný kredit) a potom vyhledá HLR volaného účastníka. Toto HLR také překontroluje služby (např.: jestli nejsou blokovány příchozí hovory), a pokud ne, tak se podívá do VLR, kde se účastník zrovna nachází. Nyní musí být zjištěna tzv. Local Area (místo, kde se vyskytuje daný účastník). Dále se pak v této oblasti táže jednotlivých Node B nebo BTS, jestli k nim není nahlášen volaný účastník.

VLR (Visitor Location Register)

Jedná se o návštěvnický registr, do kterého se vždy dočasně zapisuje poloha (Local Area) daného terminálu. Obsahuje kopie většiny informací uložených v HLR.

AuC (Authentication Centre)

Autentizační centrum má za úkol ověřit totožnost každého účastníka ještě před zahájením hovoru. Tento registr bývá obvykle součástí HLR.

EIR (Equipment Identity Register)

Registr mobilních stanic uchovávající IMEI (International Mobile Equipment Identity) neoprávněně užívaných nebo odcizených stanic. Pouze jeden EIR může být v celé síti.

IMEI je číslo, které přesně udává hardware jednotlivých mobilních terminálů. Každý mobilní terminál má jedinečné IMEI. Toto číslo nemusí být žádáno při identifikaci účastníka. Používá se hlavně při prohledávání v EIR registru, který se dělí na tři části:

- **Bílý seznam** – tito uživatelé mají platné IMEI, jsou bez problému puštěni do sítě
- **Šedý seznam** – tito uživatelé jsou monitorováni, při každém spojení se o nich uloží informace
- **Černý seznam** – tito uživatelé nemají do sítě přístup, obsahuje IMEI čísla, které jsou nahlášena jako odcizené nebo nefunkční

SGSN (Serving GPRS Support Node)

Tento blok umožňuje směrování paketů. Dále provádí ověřování a šifrování dat směrem od a k všem účastníkům využívajících služby GPRS v dané oblasti patřící SGSN. Uživatel může být obsloužen jakoukoliv SGSN, záleží jen na tom, ve které části sítě se nachází.

GGSN (Getaway GPRS Support Node)

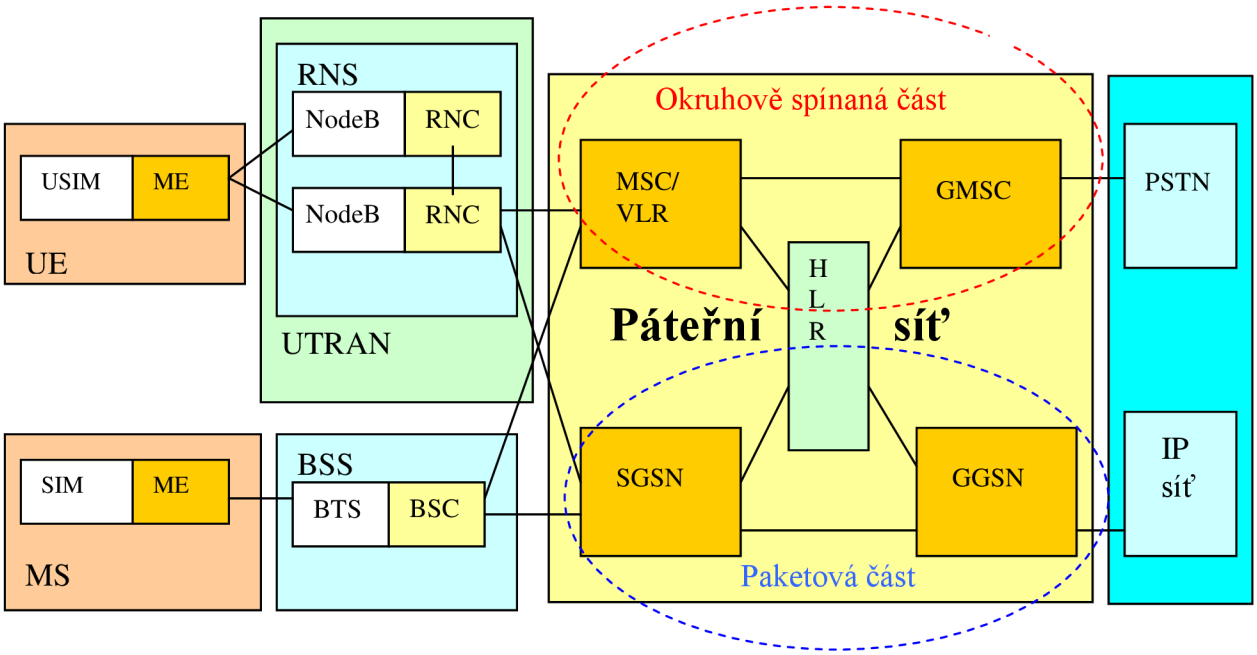
Jak z názvu plyne, je to brána, která slouží jako rozhraní mezi CN a paketovou sítí (internetem). Dynamicky přiděluje terminálům používající paketový přenos IP adresy. Z pohledu IP sítě je vidět GGSN jako router, tzn.: jako vlastník všech IP adres, jež jsou používány terminály.

MSC (Mobile services Switching Centre)

Tato ústředna představuje rozhraní mezi rádiovou a pevnou částí sítě. Je nezbytná pro všechny služby spojené se spínáním okruhů. K jedné MSC je připojeno více subsystémů RNS. Na pokrytí většího území je zapotřebí většího počtu MSC, které mezi sebou komunikují. MSC má za úkol vykonávat veškeré služby spojené s okruhovým spínáním (signalizace, spojování) v dané oblasti. Dále musí na rozdíl od ústředen v pevné síti podporovat procedury pro handover a procedury pro lokalizaci stanic v síti.

GMSC (Gateway Mobile Switching Centre)

Představuje rozhraní mezi mobilní sítí a vnějšími telekomunikačními sítěmi. Provádí konverzi signalizace komunikačních dat. Pro směrování hovorů v rámci mobilní sítě využívá HLR. Struktura celé UMTS sítě společně s GSM sítí je na Obr. 2.3.



Obr. 2.3 Struktura celé UMTS sítě společně s GSM/GPRS sítí

2.2 PŘÍSTUPOVÁ METODA V SÍTI UMTS

V síti UMTS se používá přístupová metoda WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Jedná se vlastně o technologii CDMA, která ovšem využívá větší šířku pásma. Tato šířka je i s postraními pásmy 5 MHz. U technologie CDMA všichni uživatelé využívají stejný nosný kmitočet, a to dokonce ve stejném čase. Není zde použit TDMA jako u sítě GSM. Tento přístup je možný díky tomu, že každému uživateli je přidělen jedinečný binární kód, který je logicky vynásoben s původními daty. Dojde k rozprostření signálu a vzniká tak širokopásmový signál. V této podobě je přenesen přes rádiové rozhraní. FDMA je zde použita např. k oddělení různých operátorů nebo pro vytvoření hierarchické struktury buněk. Technologie CDMA používá k rozprostření signálu 3 techniky:

- **DS-CDMA (Direct Sequnce-CDMA)** – přímé rozprostírání spektra pomocí nekorelovaných posloupností

- **FH-CDMA (Frequency Hopping-CDMA)** – rozprostření spektra s přeskakováním kmitočtů
- **TH-CDMA (Time Hopping-CDMA)** – rozprostírání spektra s přeskakováním časových slotů

2.2.1 DS-WCDMA

V systémech UMTS se vyžívá metoda DS-WCDMA, která se ještě dělí na :

- **DS-WCDMA-FDD (DS-WCDMA- Frequency Division Duplex)** – spojení probíhá mezi mobilním terminálem a Node B na jiných frekvencích ve směru uplink a downlink. To znamená, že mobilní terminál vysílá signál na jedné frekvenci a poté jej přijímá na frekvenci jiné.
- **DS-WCDMA-TDD (DS-WCDMA- Time Division Duplex)** – zde probíhá spojení na stejné frekvenci jak ve směru uplink tak v downlink. Tato spojení se ale na této frekvenci časově střídají.

Pro UMTS jsou vyhrazena kmitočtová pásma v okolí 2 GHz. Jejich frekvenční rozsahy jsou:

- Pro párové pásmo FDD pro uplink 1920 MHz – 1980 MHz s šířkou pásma 60MHz pro downlink 2110 MHz – 2170 MHz s šířkou pásma 60 MHz
- Pro nepárové 1. pásmo TDD pro uplink i downlink 1900 MHz – 1920 MHz s šířkou pásma 20 MHz a pro 2. pásmo pro uplink i downlink 2010 MHz – 2025 MHz s šířkou pásma 15 MHz.

DS-WCDMA –FDD

Použití FDD je v městských a venkovských zástavbách. Poskytuje vysokou mobilitu. Maximální přenosová rychlost v tomto režimu je kolem 384 kb/s. Většina kmitočtového spektra v síti UMTS je právě využívána tímto duplexním režimem. Informace jak ve směru uplink tak v downlink jsou neseny v rámcích délky 10 ms a tyto rámce jsou dále děleny na 15 intervalů o délce 0,667 ms. Uspořádání 72 rámců tvoří jeden superrámec o délce 720 ms.

DS-WCDMA –TDD

Tento režim bude využíván hlavně uvnitř budov a malých buněk. Bude zde dosaženo větších rychlostí, až 2 Mb/s. I v této technologii se informace přenáší v podobě rámců o délce 10 ms, které jsou rozděleny do 15 intervalů po 0,667 ms, které jsou přiděleny různým uživatelům síťových prostředků. V této metodě se tedy využívá časového duplexu a jednotlivé intervaly se dají použít jak pro uplink tak pro downlink. Toto dělení záleží na dané situaci. Pouze první interval je vždy použit pro downlink. Jednotlivé intervaly jsou navíc rozděleny rozprostíracím kódem, toto zajišťuje více uživatelů komunikujících v daném intervalu ve stejný čas.

2.3 ROZPROSTŘENÍ SPEKTRA

V UMTS je spektrum rozprostíráno tak, že se původní signál v základním pásmu sečte se signálem s mnohokrát větší přenosovou rychlostí. Signál v základním pásmu je signál po kanálovém a konvolučním kódování. Jeden bit tohoto signálu se nazývá symbol, proto se zavedl pojem symbolová rychlost. Naproti tomu element, kterým je násoben signál základního pásma, aby se dosáhlo rozprostření tohoto signálu, se označuje jako čip. Datový

tok tohoto signálu se označuje jako čipová rychlost. Tato rychlost u UMTS byla stanovena na 3,84 Mcps/s (milion čipů za sekundu), což znamená, že doba trvání jednoho čipu je převrácená hodnota, tudíž 1/3,84 Mcps/s = 230,41 ns.

2.3.1 Kódy

Síť UMTS hlavně používají 2 druhy kódování :

- Kódování kanálu
- Scramblování

Kódování kanálů

Nejprve jsou bity vstupního signálu na fyzickém kanálu násobeny rozprostíracím kódem. Poměr bitové rychlosti rozprostíracího signálu a poměr bitové rychlosti datového signálu se označuje jako rozprostírací faktor SF. Po vynásobení datového signálu rozprostíracím kódem má rozprostřený kód stejnou čipovou rychlost jako kód rozprostírající čili 3,84 Mcps/s. SF je možno měnit v rozsahu od 4 do 512, tím se dá měnit datová přenosová rychlost. Z toho plyne, že čím menší SF bude použit, tím vyšší bude přenosová rychlost, ale tím menší počet uživatelů může společně sdílet rádiový kanál. Pro kódování kanálů na straně mobilního terminálu se používají ortogonální rozprostírací kódy, zejména pak Walshovy kódy. Toto použití je nutno kvůli tomu, že mobilní terminál nevysílá pouze na jednom kanálu, ale má jich několik, např.: uživatel může zároveň volat, na pozadí může stahovat data z internetu a k tomu všemu je třeba signalizace. Každá tato relace má jinou přenosovou rychlost. Tyto všechny kanály musíme sloučit do jednoho a přitom dodržet nekorelovanost těchto kanálů, aby na straně přijímače, v našem případě Node B, byly schopny z tohoto jednoho kanálu pomoci řady integrátorů oddělit jednotlivé kanály zase od sebe. Funguje to tak, že každý kanál s rozdílnou přenosovou rychlostí je vynásoben ortogonálním rozprostíracím kódem, který je dále upraven a vyslán vysílačem do rádiového rozhraní. Přijímač složený z více oddělených částí přijme tento signál a v každé části je pomoci integrátoru oddělen daný kanál. Toto oddělení je možné jen tehdy, pokud je vzájemná korelační funkce těchto kódů co nejmenší, nejlépe nulová. Použití tohoto kódování je možné pouze k oddělení fyzických kanálů vygenerovaných ve stejném vysílači. A to proto, že pokud by došlo k chybě, např.: důsledkem špatné synchronizace a signál by se třeba jen o jeden čip posunul, došlo by k prudkému nárůstu korelační funkce a tím by byl proces odloučení kanálu v přijímači znemožněn.

Skramblování

Po kódování kanálu se signál skrambluje. Tento proces nemá vliv na šířku pásma, čipová rychlost zůstává stejná jak po kódování kanálu. Skramblování používá náhodné kódy, tzv. Gold kódy. Tyto kódy mají periodu 10 ms. Dělí se na dlouhé a krátké kódy. Dlouhé kódy mají 38400 čipů, zatímco krátké mají pouze 256 čipů. U běžných buněk, které nejsou vybaveny speciálními přijímači, které potlačují interferenci, se používají dlouhé kódy. Naopak krátké kódy se používají v buňkách, kde je Node B vybaven přijímačem, který obsahuje víceuživatelský dekodér nebo potlačení interferencí. Skramblovací kódy se ve směru uplink používají k oddělení signálu přicházející od různých uživatelů. Ve směru downlink se používají k oddělení signálů přicházejících od různých Node B. V případě, že vysílače používají stejný rozprostírací kód ale odlišný kód skramblovací, tak i přesto je přijímač schopen rozlišit tyto signály.

2.4 HANDOVER

Aby komunikace mezi účastníky byla plně mobilní a plynulá, je třeba, aby pohybující se terminál byl stále přepojován mezi buňkami. K tomuto účelu slouží právě handover. Handover je proces, při němž si pohybující mobilní terminál na základě měření síly pilotního signálu, kvality příjmu a dalších parametrů přiděluje do svého seznamu vysílače (Node B), ke kterým se později připojí v případě lepšího signálu než má jeho stávající vysílač. V síti UMTS je podporováno více druhů handoveru:

Intrasystem handover – tento druh handoveru funguje v systému založeném na stejné technologii (WCDMA), dělí se na:

- **Intrafrequency handover** – nastává mezi buňkami se stejným kmitočtovým pásmem
- **Interfrequency handover** – nastává mezi buňkami s různým kmitočtovým pásmem

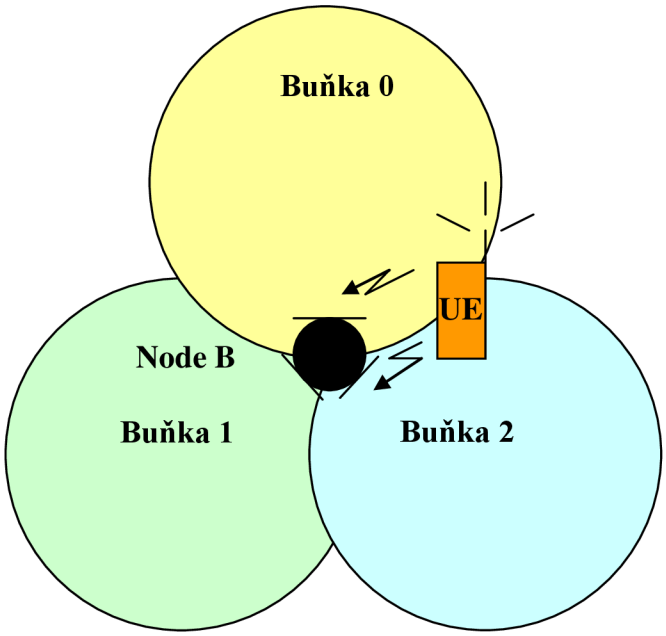
Intersystem handover – tento handover se uplatňuje tam, kde se používá odlišná technologie, např.: GSM a UMTS, dále třeba tam, kde se používají jiné přístupové technologie, např.: WCDMA-TDD a WCDMA-FDD.

Handover má základní tři druhy, a to:

- Softer handover
- Soft handover
- Hard handover

2.4.1 Softer handover

Pokud Node B obsahuje směrové antény, standardně se používají 3 směrové antény, tak se dá použít speciální druh soft handoveru, a to sice softer handover. Tento handover probíhá v místě překrytí dvou buněk u jedné základnové stanice. Princip softer handoveru je zobrazen na Obr. 2.4.**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

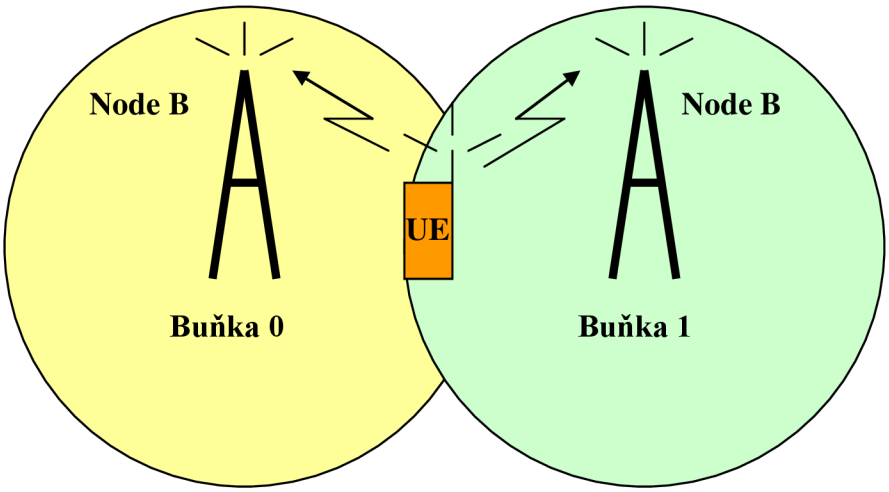


Obr. 2.4 Princip softer handoveru

Signál je tedy vyslán k dvěma anténním systémům, kde se pomoci speciálního přijímače (RAKE) tento signál opět složí. Jelikož se jedná o softer handover, není třeba k složení signálu bloku RNC, Node B dokáže signál přijímaný z více směrů rekonstruovat na fyzické vrstvě sám. Tento handover má tu výhodu, že díky RAKE přijímači může mobilní terminál snížit svůj vysílací výkon a tím zvýšit poměr signál-šum. Diky menšímu vysílacímu výkonu může v dané buňce vysílat více terminálů, aniž by se navzájem svými vysokými výkony rušily.

2.4.2 Soft handover

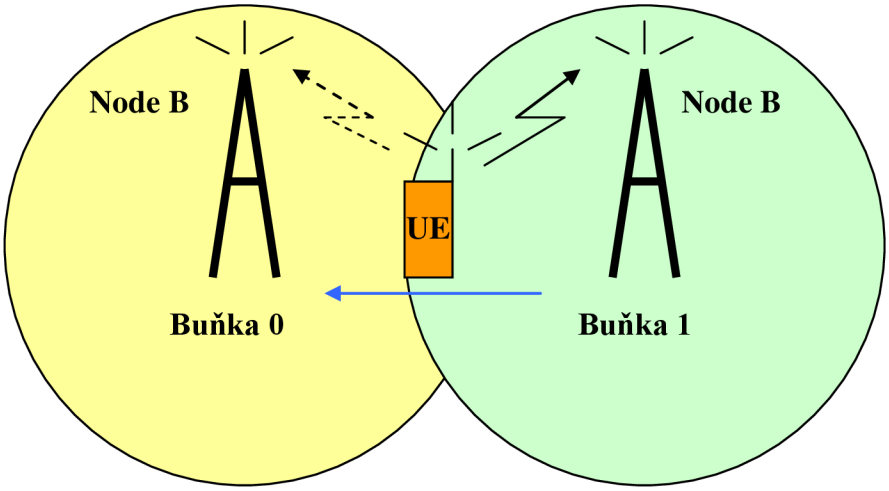
Tento handover vzniká v místě překrytí dvou buněk, ale již odlišných základnových stanic. Při pohybu mobilního terminálu je stále prohledáváno okolí a měřen signál okolních buněk. V případě, že se terminál vzdaluje od své základnové stanice, začne vzrůstat jeho vysílací výkon, aby se udrželo stále kvalitní spojení. Jakmile terminál zachytí vysílání jiné Node B a je v dostatečné kvalitě, připojí se v místě překrytí těchto signálu i k druhé Node B. Původní Node B zůstane připojena až do té doby, než se terminál vzdálí natolik, že bude výhodnější se od něj odpojit. Tento handover může být proveden pouze tehdy, pokud oba Node B používají stejnou frekvenci. Protože je signál přijímán zároveň dvěma základnovými stanicemi, nemá tedy tato stanice prostředky k rekonstrukci celého vysílaného signálu. Složení signálu se potom provádí až ve vyšší vrstvě, konkrétně až v bloku RNC. Mohou nastat dva případy komunikace mezi RNC a CN. První je, že oba Node B patří k jednomu RNC. Tehdy se o komunikaci mezi UE a CN stará právě toto RNC, které se označí jako SRNC (Serving RNC). Druhý případ je, že každý Node B je připojen k jinému RNC, tehdy se jeden RNC označí jako SRNC a druhý jako DRNC (Drift RNC), ale za komunikaci s CN je vždy zodpovědný SRNC. Výhodou soft handoveru je vyšší kvalita signálu bez jakéhokoliv přerušení. Nevýhodou je nemožnost eliminace zdvojeného signálu v Node B a z důvodu současné komunikace s více Node B se také více zatěžuje rádiový prostor systému. Princip činnosti soft handoveru je zobrazen na Obr. 2.5.



Obr. 2.5 Princip softer handoveru

2.4.3 Hard handover

Při tomto handoveru měří mobilní stanice sílu signálu a jiné parametry ostatních buněk a připojí se pouze tehdy, pokud je síla signálu druhého Node B větší, a tím i kvalitnější, než síla signálu buňky, ke které je terminál momentálně připojen. Při potřebě provedení hard handoveru se nejdříve vybuduje nový rádiový kanál u druhého Node B, kam se chce terminál připojit. Mobilní terminál je informován o tomto novém kanále a také o všech jeho parametrech. Dále se terminál přepojí na tento kanál a až potom zanikne předchozí rádiový kanál. Toto přepojení znamená krátký výpadek pro služby v reálném čase, ale toto přepojení je natolik rychlé, že pro ostatní služby je nepozorované. Hard handover se používá tam, kde není povolen soft handover, tzn.: u intersystem handoveru (např.:GSM a UMTS) a dále u intrafrequency handoveru a interfrequency handover. Princip činnosti hard handoveru je vidět na Obr. 2.6. Modrá šipka v obrázku znázorňuje směr pohybu mobilního terminálu.



Obr. 2.6 Princip hard handoveru

2.4.4 Přijímač RAKE

Signál od UE k Node B a naopak se šíří několika různými cestami a tím vzniká interference. Pro to by měl být vysílaný výkon co nejmenší, to by částečně zabránilo vzniku interferencí. Právě kvůli interferencím je Node B i UE vybaven speciálním přijímačem, tzv. RAKE. Tento přijímač potlačuje interference. RAKE se skládá z přijímačů, zpožďovacích členů, generátoru kódu a bloků, zajišťujících změnu fáze a zisku. RAKE se skládá z větví, tzv. (Fingers). Každá větev obsahuje přijímač a blok změny fáze a zisku. Obvykle jeden RAKE přijímač obsahuje 4 přijímací větve. Funkce je taková, že první větev přijímá slabý signál a snaží se ho rozkódovat pomoci kódu přiřazeném tomuto spojení. Druhá větev také přijímá signál, ale rozkódování začne, až daný kód projde zpožďovacím členem. Podobně pracují i ostatní přijímací větve s tím rozdílem, že mají větší zpoždění kódu. Tímto se odstraní zpoždění signálu a na výstupu RAKE přijímače se signály z jednotlivých větví sečtou a výsledná hodnota je vyšší než na každé přijímací větvi. Tento děj je právě využit u soft a softer handoveru. Výše popsaný děj probíhá v Node B. U UE je to velmi podobné s tím rozdílem, že pro příjem signálu se používají 3 přijímací větve, jelikož při soft handoveru může být signál přijímán až od 3 buněk. Čtvrtá větev je využita právě k monitorování síly jednotlivých signálů.

2.4.5 Řízení výkonu

Řízení výkonu je velmi důležité ve všech mobilních sítích z důvodů nižší spotřeby mobilních terminálů a také z bezpečnostního hlediska. V systémech, které využívají WCDMA je toto řízení mnohem důležitější. Jak jsem již uvedl, nejsou zde žádné pevné timesloty jako u předchůdců UMTS, to znamená, že všichni uživatelé sdílí přidělené rádiové pásmo ve stejnou dobu. Jejich oddělení je realizováno jedinečným kódem, ale i přesto je možné zarušení jiného účastníka. Děje se to například pokud by byl jeden terminál blízko Node B a vysílal by s větším výkonem než terminál na okraji buňky Node B. Pokud by vysílané výkony měly velkou velikost, byl by vzdálený terminál zarušen signálem bližšího terminálu. Z tohoto důvodu je řízení výkonu v sítích WCDMA nutnost.

Řízení výkonu dělíme na dva základní druhy, a to na straně koncových zařízení (při uplinku) a na straně základnové stanice (při downlinku). Dvě základní metody řízení výkonu jsou:

- Zpětná uzavřená smyčka (Closed Loop Power Control)
- Zpětná otevřená smyčka (Open Loop Power Control)

Řízení výkonu při uplinku

Při tomto řízení výkonu vzniká problém, který jsem již výše popsal. Jedná se o sdílení jednoho pásma všemi stanicemi, jde o near-far problem (problém blízké a vzdálené stanice). Zde je právě nutno pomocí řízení výkonu nastavit jak blízkému tak vzdálenému terminálu stejné výkony a, pokud možno, co nejmenší. Zmenšení těchto výkonů má za následek zvýšení kapacity sítě. V uplinku se řízení provádí třemi technikami:

- **Uplink Closed Loop Power Control** - při této technice je neustále měřena hodnota SIR (Signal to Interference Ratio), a to u všech mobilních terminálů základnovou stanicí, která tyto naměřené hodnoty porovnává s hodnotou SIR_{target}. Po tomto porovnání vyšle Node B povel k zvýšení nebo naopak ke snížení vysílaných výkonů.
- **Outer Loop Power Control** – tato kontrola se přímo vztahuje k QoS (Quality of Service). RNC vyšle Node B hodnotu SIR_{target}, potřebnou k realizaci služby s danou QoS. Node B po získání hodnot SIR z mobilních terminálů provede porovnání těchto hodnot a vyšle pokyn k zvýšení nebo snížení vysílacího výkonu.
- **Uplink Open Loop Power Control** - Mobilní stanice nastavuje svůj vysílací výkon podle úrovně přijatého pilotního signálu od základnové stanice.

Řízení výkonu ve směru downlink

U tohoto druhu řízení odpadá near-far problem. Základnová stanice vysílá s co nejmenším výkonem, ale s dostačujícím pro danou QoS.

- **Downlink Closed Loop Power Control** - Jedná se v principu o stejnou metodu řízení výkonu, jako tomu bylo v případě Uplink Closed Loop Power Control, vysílací výkon pro Node B nyní však určuje mobilní stanice.

2.5 QOS (QUALITY OF SERVICE)

V dnešní době je paketový přenos dat využíván k mnoha účelům:

- Prohlížení www stránek
- Stahování dat
- VoIP telefonie
- Streaming videa
- Video konference aj.

Tyto služby kladou různé nároky na prostředky sítě. Některé služby jsou velmi citlivé na časové zpoždění nebo na kolísání zpoždění (jitter). Např.: když bude v síti uživatel, který bude kontinuálně stahovat velké soubory třeba z ftp serveru, tak služby citlivé na časové zpoždění s menším datovým tokem se takřka nedostanou k svému cíli. Je to pro to, že existuje pouze jedna společná fronta v uzlových prvcích. Tato fronta je zanesena službou, která má největší datový tok, a služby jako je např.: VoIP budou mít tak velké zpoždění, že komunikace nebude moci probíhat. Tento jev je řešen pomoci QoS. Jde o to rozdělit služby s podobnou náročností na rychlé odbavení v uzlech do stejných tříd. Následně potom tyto třídy hierarchicky seřadit podle priority. To bude mít za následek, že služby s největší citlivostí na časové zpoždění (služby pracující v reálném čase) budou mít největší prioritu a postupně buou řazeny třídy s nižší prioritou. Výsledná komunikace bude probíhat tak, že služby v nejnižší třídě budou probíhat jen tehdy, pokud si nebude vyšší třída žádat o síťové prostředky. Samozřejmě je zařazen vhodný mechanismus, aby naopak služby s vyšší prioritou nezahltily linku natolik, že služby s nejnižší třídy nebudou moci vůbec pracovat. V UMTS síti máme čtyři třídy služeb:

- Konverzační třídu
- Streamovací třídu
- Interaktivní třída
- Třída služeb na pozadí

2.5.1 Konverzační třída

Tato třída se uplatňuje pro služby v reálném čase s největší náchylností na časové zpoždění a na kolísání zpoždění. Typickými představiteli jsou Videokonference a VoIP. Zpoždění těchto služeb je odvozeno od lidského vnímání hlasu. Díky tomu bylo maximální end to end zpoždění stanoveno na 200 milisekund. Jak bylo řečeno, tato třída má největší prioritu a z toho plyne, že je nejčastěji odbavována v síťových uzlech.

2.5.2 Streamovací třída

Tato třída je také určena pro služby v reálném čase a již méně náchylné na časové zpoždění nebo jitter. Na rozdíl od konverzační třídy jsou zde data přenášena pouze jedním směrem od serveru k uživateli. Typickými představiteli je streamované video nebo hudba. Jelikož je video přenášeno obvykle UDP protokolem, není možná žádná kontrola doručení. Proto musí být kvalita doručení garantovaná streamovací třídou. Zpoždění a jitter je vyrovnáváno až na straně příjemce ve vyrovnávací paměti, přičemž malé ztráty paketů jsou díky vhodnému kódování a lidskému vnímání zanedbatelné.

2.5.3 Interaktivní třída

Tato třída, jak již názvu vypovídá, je určena k interakci mezi serverem a uživatelem. Typicky se používá pro surfování na internetu. Tato služba je typická pro TCP protokol. Funguje na principu žádosti a odpovědi. Rychlost této komunikace je závislá na mnoha faktorech ale v našem případě na rychlosti linky a také na požadavcích vyšších tříd. Přenos paketů musí byt bezchybný, což zajišťuje protokol TCP.

2.5.4 Třída služeb na pozadí

Tato třída nemá prakticky žádné požadavky na zpoždění. Její provoz je závislý na provozu ostatních tříd. V případě velkého provozu vyšších tříd je tato třída a služby v ní zpomaleny nebo úplně přerušeny. Příkladem těchto služeb je ftp, email aj. Důležitým požadavkem této třídy je chybovost, která musí být co nejnižší. Opět je zde použit protokol TCP a jiné protichybové mechanizmy.

3 OPNET MODELER

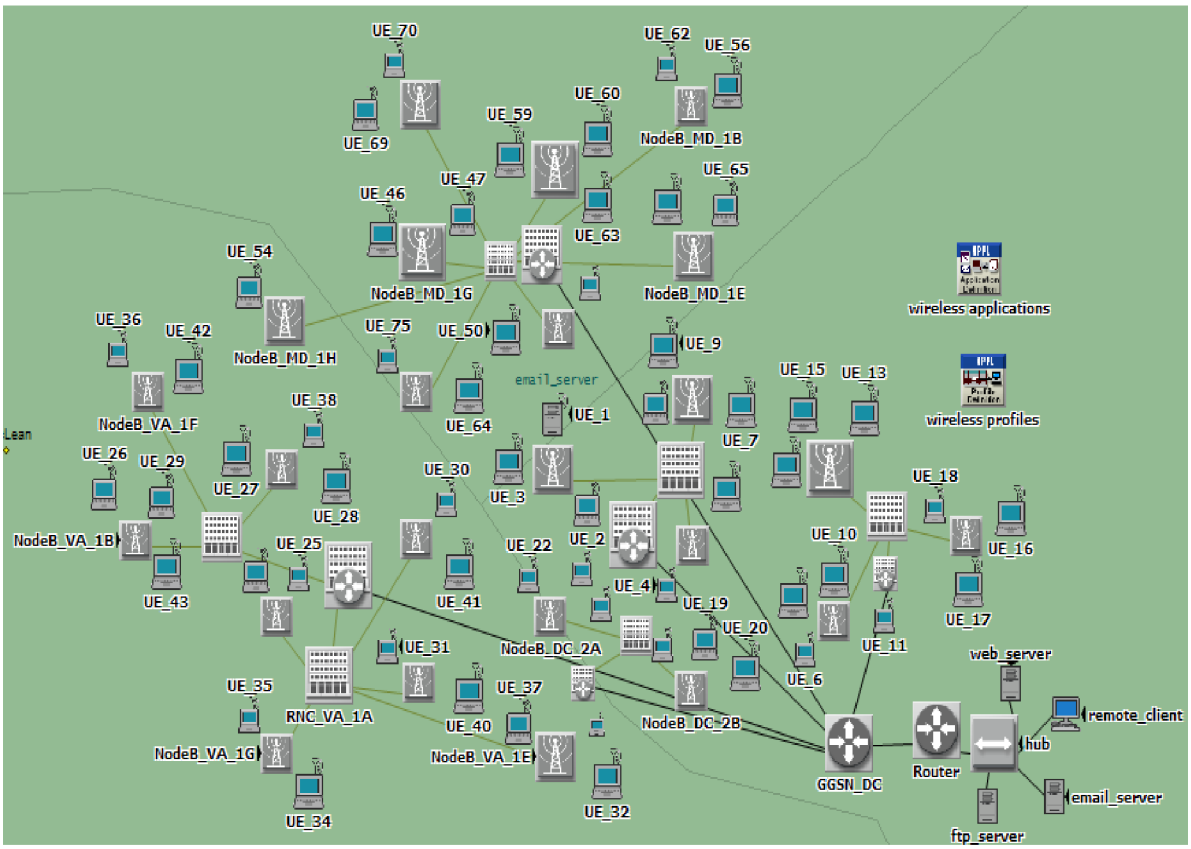
Program Opnet Modeler je simulační program, který zjednodušuje práci při tvoření paketových sítí. V dnešní době jsou tyto simulační programy velmi vážené, jelikož budovat vždy rozsáhlou síť bez jistoty, že bude fungovat, jak potřebujeme, by bylo velmi nákladné. K tomuto účelu slouží program Opnet Modeler. Dají se vněm navrhovat různé paketové sítě a přesně simulovat provoz a analyzovat výsledky dané simulace. Tento program je součástí balíčku programů americké firmy Opnet (Optimum Network Performance). Velkou výhodou tohoto programu je možnost sledovat průběhy datové komunikaci v různých délkách trvání, což je velmi efektivní, není třeba čekat dlouhou dobu na výsledek simulace, doba trvání simulace je pouze závislá na výkonu počítače, na kterém je simulace prováděna. Opnet Modeler je graficky orientovaný nástroj, což velmi zrychluje a zefektivňuje práci programátora. Při odsimulování určité sítě se dají z množství grafů detailně shlédnout výsledné naměřené hodnoty. Tyto grafy se potom dají exportovat do programu Microsoft Excel, kde se dají dále upravovat. Velké plus Opnetu je v jeho rozsáhlých knihovnách, které mají otevřený kód a dají se dále upravovat. Je zde i velmi dobře provedený help, který obsahuje spousty propracovaných tutoriálů.

Opnet Modeler obsahuje velké množství editorů, které umožňují modelovat různé sítě a měnit parametry s různým stupněm abstrakce. Nejčastěji se používají 3 základní druhy editorů:

- editor projektů (Project editor)
- editor uzlů (Node editor)
- editor procesů (Process editor)

3.1 PROJECT EDITOR

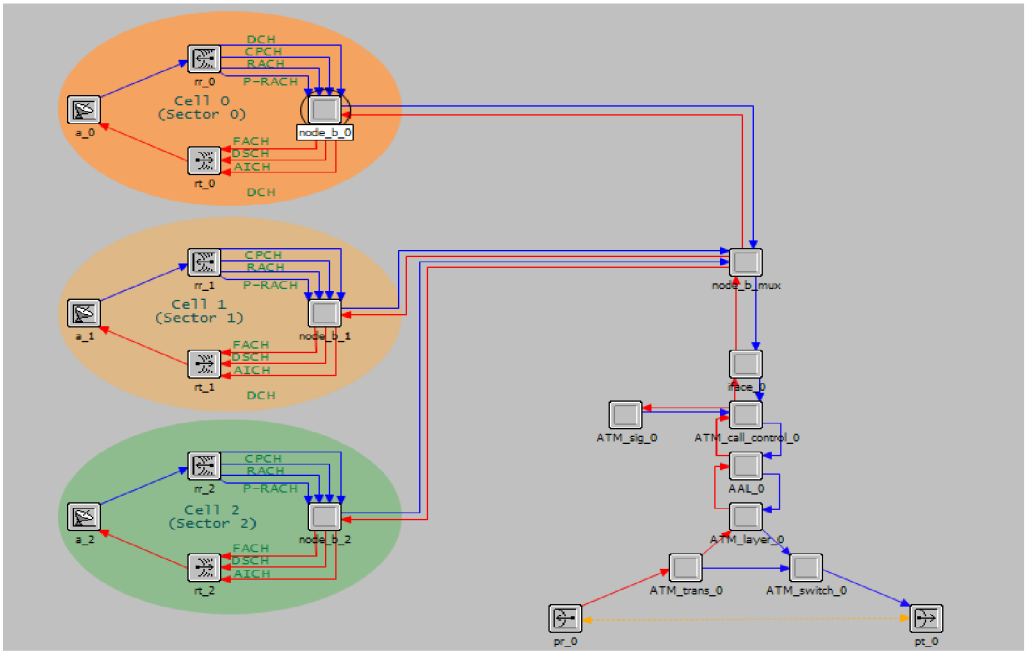
Tento editor slouží k budování topologie sítě s následnou možností analýzy komunikace v této síti. Síť obsahuje jednotlivé uzly a odkazy na objekty, které se dále dají konfigurovat. Objekty si může návrhář sítě sám vytvořit nebo použít stávající objekty z rozsáhlých knihoven. Projektový editor má v sobě poměrně detailní mapy světa. Díky nim je síť možno namodelovat přímo do dané lokality, což je podstatně přehlednější. Pro vytvoření různých konfigurací stejné sítě slouží tzv. scénáře, které umožňují duplikovat danou síť a dále ji konfigurovat. Schéma Projekt editoru je na Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Schéma Projekt editoru

3.2 NODE EDITOR

Je na nižší úrovni než je projekt editor. Tento editor ukazuje vnitřní strukturu daného síťového prvku a jeho vzájemné vztahy mezi funkčními modely a volanými funkcemi.

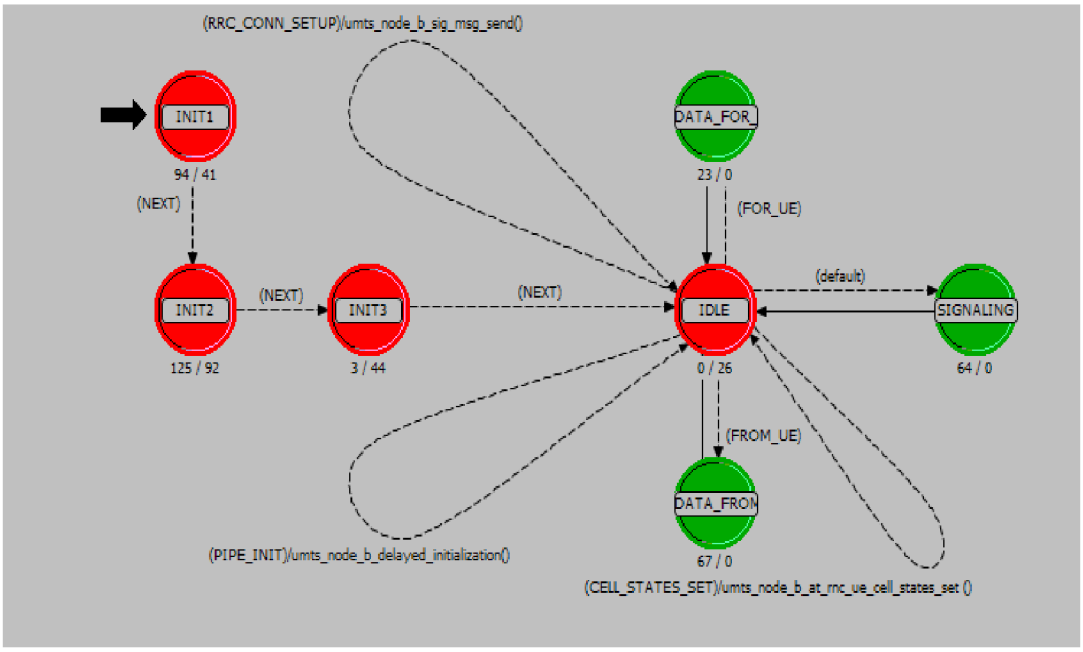


Obr. 3.2 Schéma Node editoru 3 sektorového Node B

V této struktuře jsou vidět modely uzlů, které jsou spolu propojeny datovými cestami. Modely představují různé aplikace, protokolové vrstvy a dále fyzické prostředky jako jsou porty, buffery či sběrnice. Schéma Node editoru je na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**Obr. 3.2.

3.3 PROCESS EDITOR

V této hierarchii stojí na nejnižší úrovni. Proces editor je ukončený stavový automat. Stavy a procesy jsou znázorněny v grafických diagramech. Tyto stavy obsahují kód napsaný v jazyce C/C++, dále je možno jednotlivé stavy měnit tak, že do nich naprogramujeme vlastní kód. Schéma Process editoru je na Obr. 3.3.



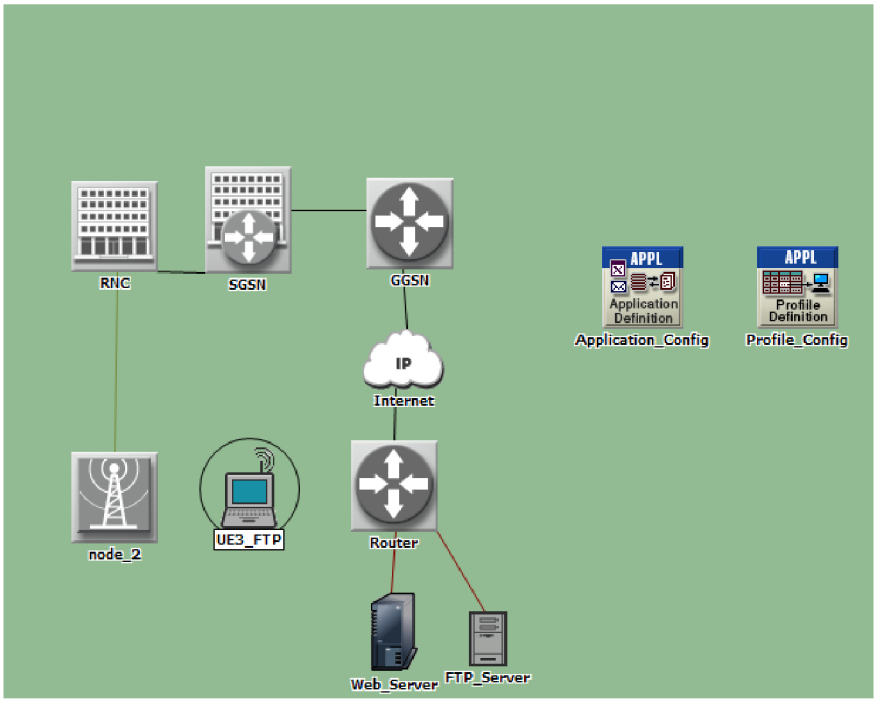
Obr. 3.3 Schéma Process editoru

4 SIMULACE V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER

V praktické části se budu zabývat změnou různých parametrů přístupové sítě UMTS, a to konkrétně UE, Node B a RNC. Jako první jsem se zaměřil na službu, která je z hlediska mobility absolutně nejdůležitější. Touto službou je handover. Postupně budou odsimulovány tři druhy handoveru a přitom budou sledovány a vyhodnocovány signály v jednotlivých částech přístupové sítě, dále bude odsimulováno vliv QoS na propustnost sítě.

4.1 KONFIGURACE PARAMETRŮ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ MODELŮ PRO HANDOVER

Zde bude uvedeno přesné nastavení parametrů u jednotlivých částí sítě. Na Obr. 4.1 jsou vidět všechny komponenty sítě, které budou použity pro simulaci. Jednotlivé parametry budou nastaveny u všech scénářů stejně, je to kvůli adekvátnímu srovnání výsledků. Jediné, co se bude v této síti měnit, je počet Node B, a to v závislosti na použitém handoveru. Jsou uvedeny jen parametry důležité pro danou simulaci ostatní nechávám standardně přednastavené.



Obr. 4.1 Komponenty simulované sítě

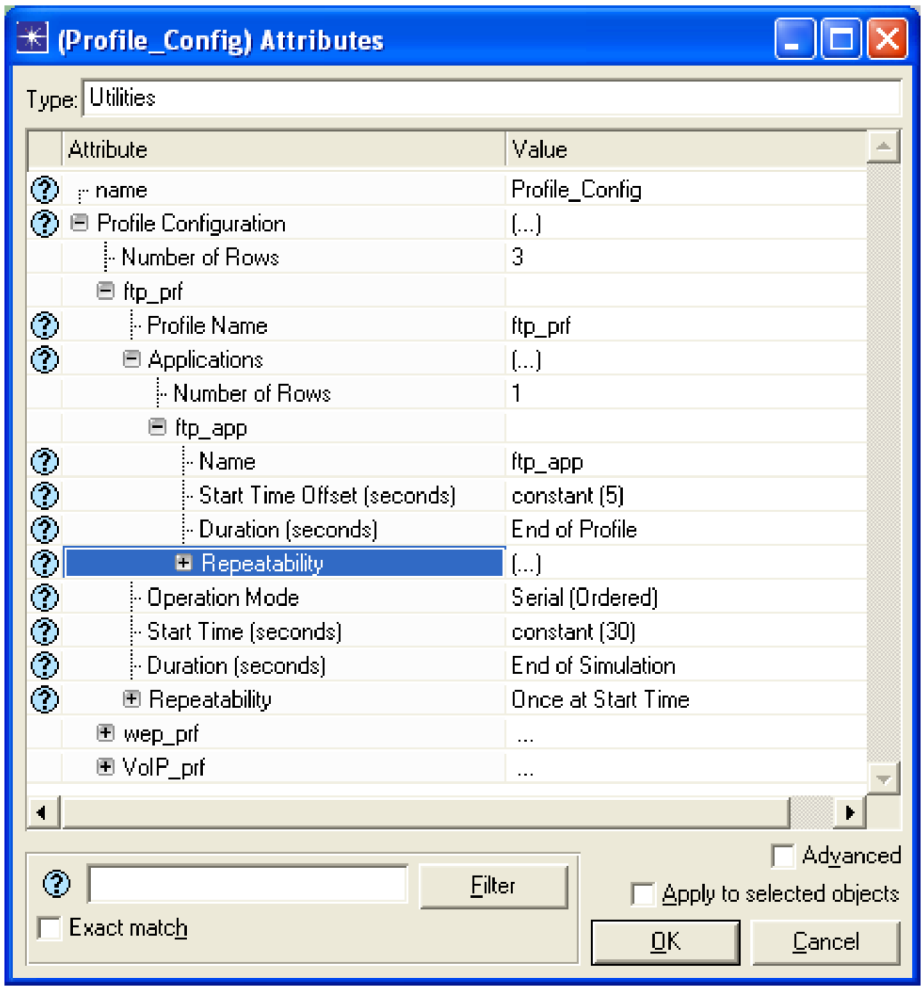
4.1.1 Konfigurace Profile config

V tomto bloku je nastaven profil aplikací dané sítě. Jde především o to propojit dané aplikace s daným profilem. V tomto modelu se nastavuje čas spuštění profilu a aplikace a také jejich doba trvaní. Možná konfigurace je vidět na Obr. 4.2.

- **Start Time Offset (seconds)** - zde se nastavuje čas spuštění dané aplikace od začátku spuštění profilu. Bylo nastaveno „constant (5)“, to znamená, že se aplikace spustí 5 sekund po spuštění profilu.
- **Duration** – zde se nastavuje doba trvání dané aplikace. Bylo zvoleno „End of Profile“. Jelikož je potřeba, aby po celou dobu pohybu mobilního terminálu

byla přenášena data z FTP serveru do mobilního terminálu. Proto je vhodné nastavit trvání až do konce profilu.

- **Start Time** – je to doba, kdy při spuštění simulace má být spuštěn profil. Byla nastavena hodnota „constant (30)“.
- **Duration** – tento čas je zodpovědný za dobu trvání profilu. Bylo nastaveno „End of Simulation“.



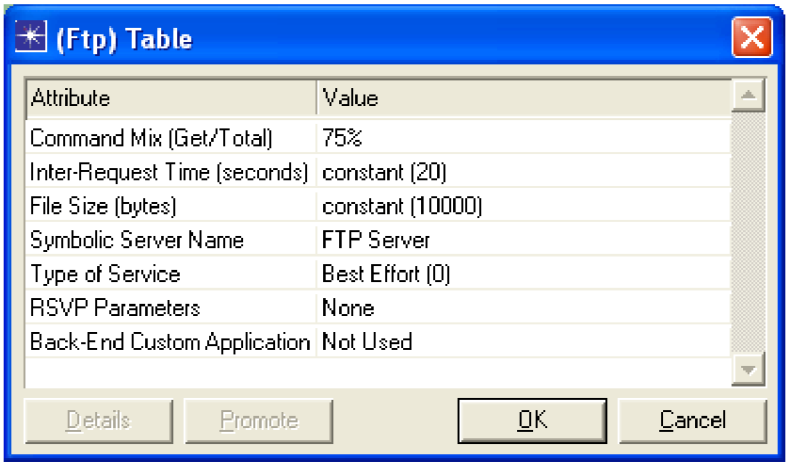
Obr. 4.2 Konfigurace Profile config

4.1.2 Konfigurace Application config

Zde jsou nastaveny veškeré aplikace používané v této síti. Pro simulaci handoveru byla zvolena aplikace FTP. Nastavení tohoto modelu je na Obr. 4.3.

- **Command Mix (Get/Total)** – je to procentuální poměr, který je povolen pro download a upload. Zde byla zvolena hodnota 75%, což znamená 75% download a 25% upload.
- **Inter Request Time (seconds)** – je to doba mezi dvěma žádostmi na FTP server. Bylo zvoleno „constant (20)“.
- **File Size (bytes)** – je to velikost souboru odeslaná ze serveru v bytech. Bylo voleno „constant (10000)“.
- **Symbolic Server Name** – je to jméno severu, se kterým bude probíhat FTP komunikace. Zvolil jsem FTP Server.

- **Type of Service** – jedná s o určení kvality služeb QoS, jelikož přenášení dat není náročné na časové zpoždění. Byla volena služba „Best Effort (0)“.

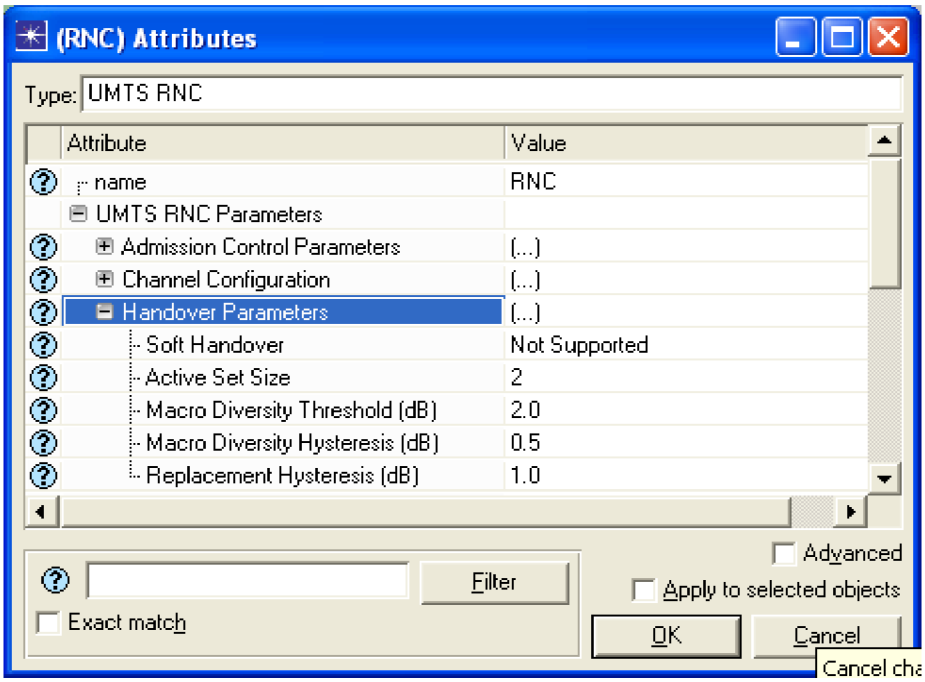


Obr. 4.3 Konfigurace Application config

4.1.3 Konfigurace RNC

Toto nastavení bude jako jediné průběžně měněno v závislosti na simulovaném handoveru. Je zde třeba nastavit průběh handoveru jako je například počet aktivních buněk v seznamu, nastavení typu handoveru, šířku hystereze atd. Toto nastavení je vidět na Obr. 4.4.

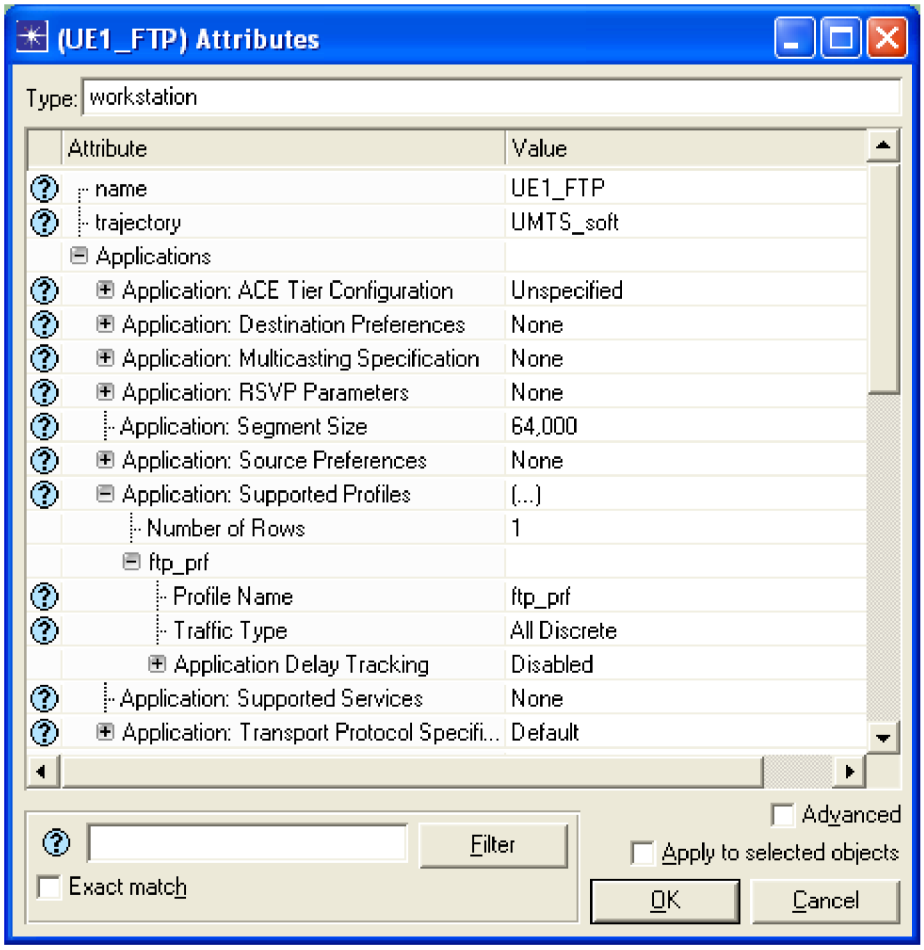
- **Active Set Size** – udává maximální počet buněk v seznamu aktivních buněk. Bylo nastaveno na 2.
- **Soft Handover** – odpovídá za zvolený druh handoveru. Pro začátek byl zvolen Supprorted, což znamená, že je povolen soft a softer handover.



Obr. 4.4 Konfigurace RNC

4.1.4 Konfigurace UE a FTP serveru

U FTP server a UE ponecháme většinu parametrů nastavenou na default, protože pro simulaci handoveru nemají příliš velký význam. K FTP serveru je nutno připojit námi vytvořenou aplikaci. U UE je třeba provázat objekt s daným profilem. Dále je pak zapotřebí nastavit trajektorii terminálu. Konfigurace UE je vidět na Obr. 4.5.

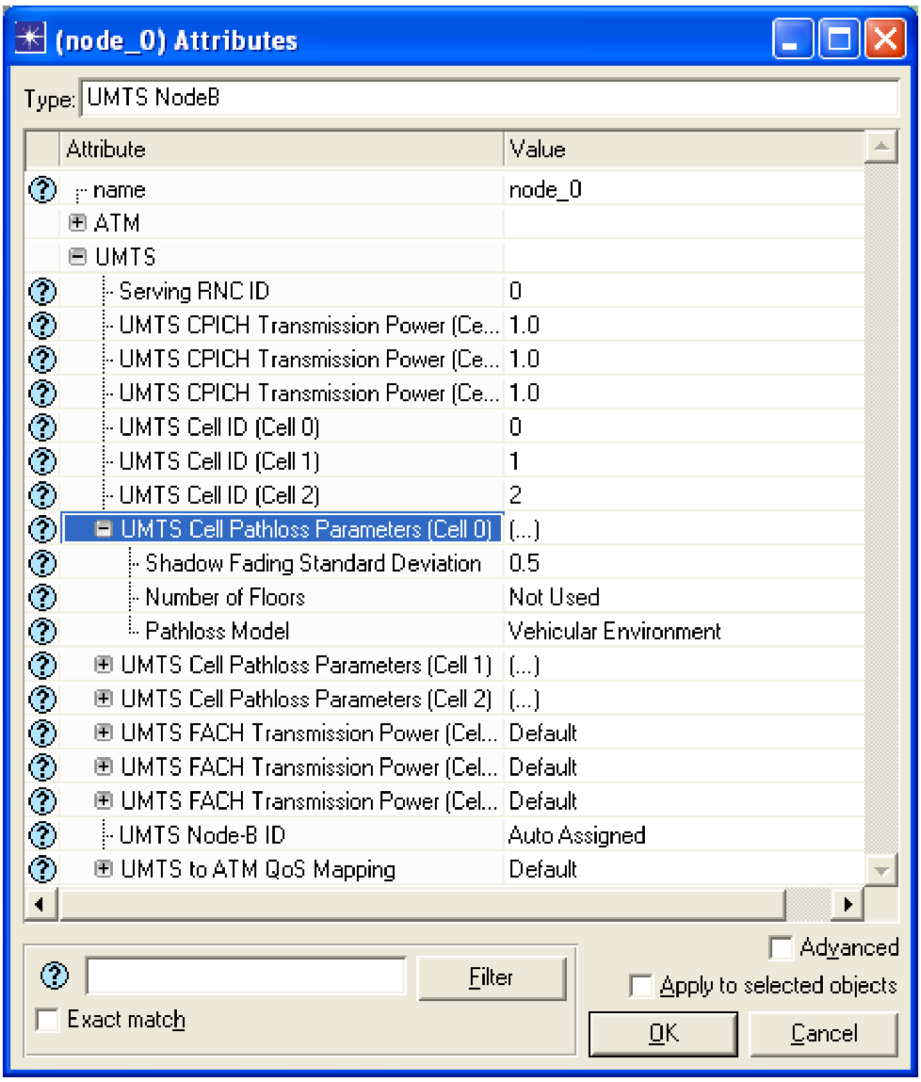


Obr. 4.5 Konfigurace UE

4.1.5 Konfigurace Node B

V tomto komponentu je třeba nastavit jednotlivé sektory, vysílací výkony antén atd. V této simulaci byla vybrána třísektorová základnová stanice, aby mohl být prezentován průběh softer handoveru. Konfigurace parametrů Node B je na Obr. 4.6.

- **UMTS CPICH Transmission Power** – jedná se o nastavení vysílacího výkonu pro pilotní kanál. Bylo zvoleno 1 W.
- **UMTS FACH Transmission Po**wer – jedná se o nastavení výkonu určeného pro komunikaci mobilních terminálu v dané buňce. Zde byl ponechán nastavený výkon 0,5 W.

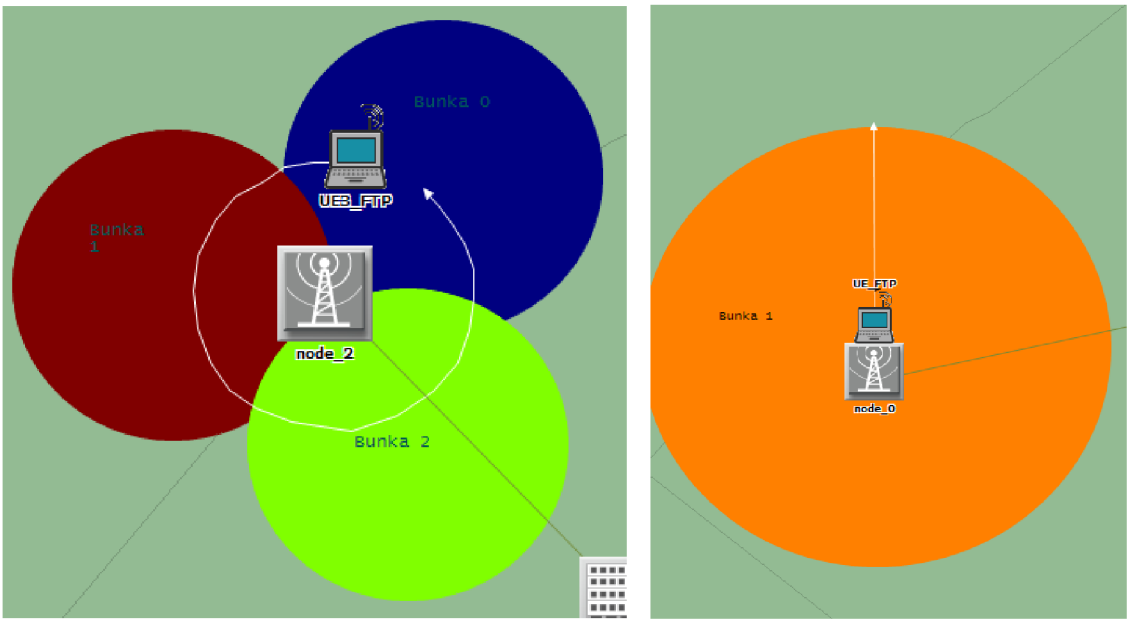


Obr. 4.6 Konfigurace Node B

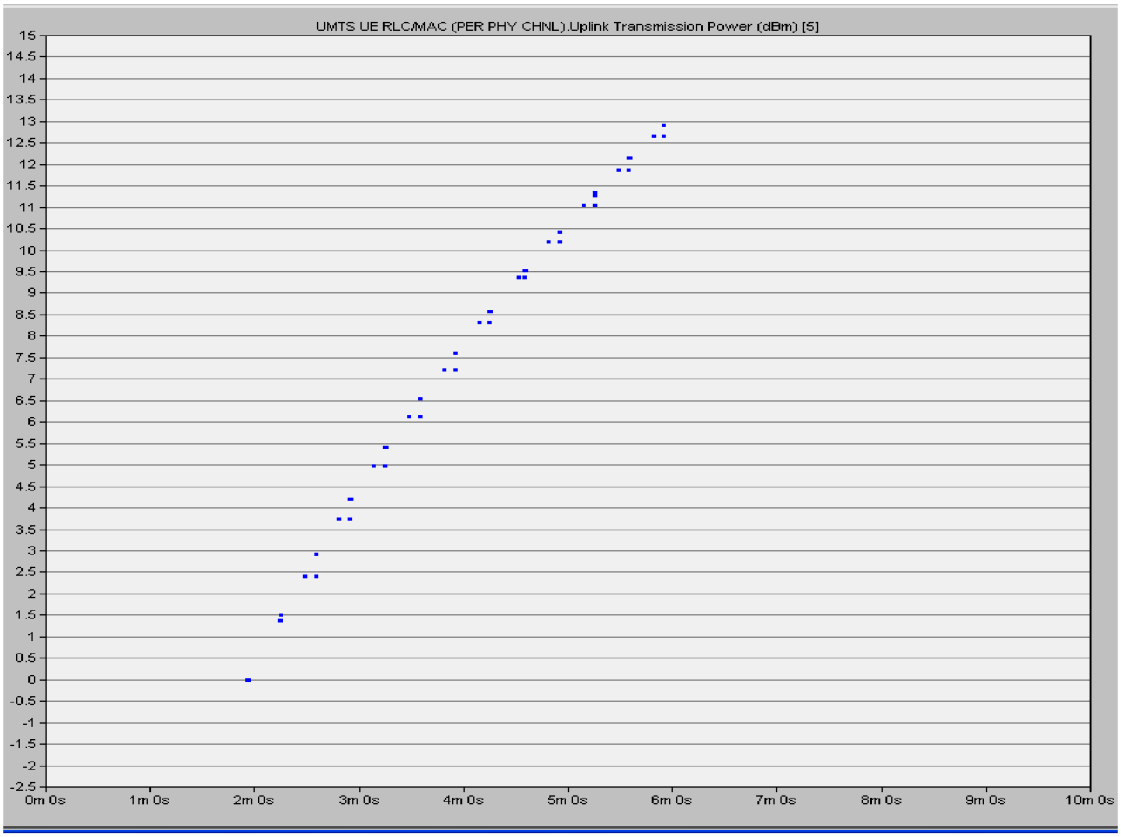
4.2 HANDOVER

Jak již bylo zmíněno, jako první část simulace byl vybrán handover. Při realizaci simulace v Opnet Modeleru se naskytlo hned několik problémů. V zvoleném modelu byly použity třísektorové antény, ale bohužel nikde není řečeno, jak jsou jednotlivé anténní systémy orientovány v prostoru. Další problém byl, že při zvolení vysílacího výkonu (v našem případě 0,5 W) není jasné, kde přesně končí dosah signálu. Tyto problémy bylo nutno nejdříve odstranit, aby bylo možné provést důvěryhodnou simulaci. Jako první byla snaha zjistit, kam jsou přesně situovány jednotlivé antény u Node B. Byla tedy vytvořena co nejpřesnější kruhová trajektorii kolem celého Node B a postupně bylo měněno místo začátku pohybu mobilního terminálu. Pomocí grafu přidaných a odebraných buněk z aktivní sady byly potom zjišťovány místa, kde se buňky překrývají. Podle měření by mělo být rozmístění buněk kolem Node B přibližně takové, jak je vidět na Obr. 4.7a. Druhý problém byl řešen způsobem, který je na Obr. 4.7b. Pro toto měření byl vybrán Node B s jedním sektorem, k němu byl umístěn mobilní terminál s nadefinovanou rovnou trajektorií směrem od Node B. Postupně byla měněna délka trajektorie a bylo sledováno jak roste výkon. V případě, že trajektorie byla příliš krátká, mobilní terminál zůstal po ukončení pohybu stát v dosahu signálu Node B a jeho vysílací výkon zůstal konstantní. V případě, že trajektorie byla příliš

dlouhá, mobilní terminál se dostal až za dosah signálu Node B a komunikace byla přerušena. Tímto způsobem bylo zjištěno, kam až sahá signál vysílaný s výkonem 0,5 W. Po odstranění těchto problémů bylo možné začít simulovat. Graf vysílacího výkonu je na Obr. 4.8.



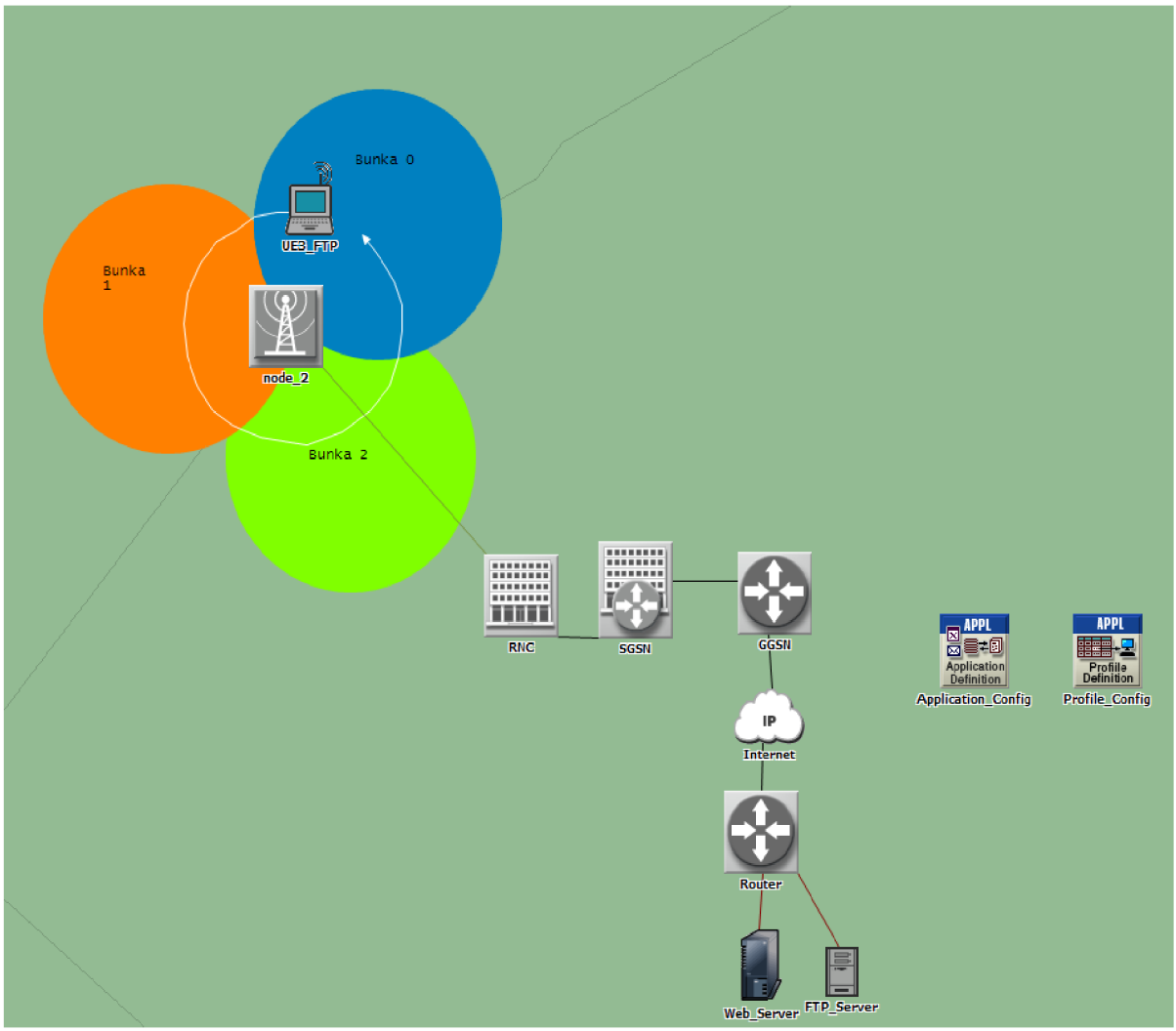
Obr. 4.7 a) Zjištění směrovosti antén, b) zjištění dosahu signálu s výkonem 0,5 W



Obr. 4.8 Graf vysílacího výkonu

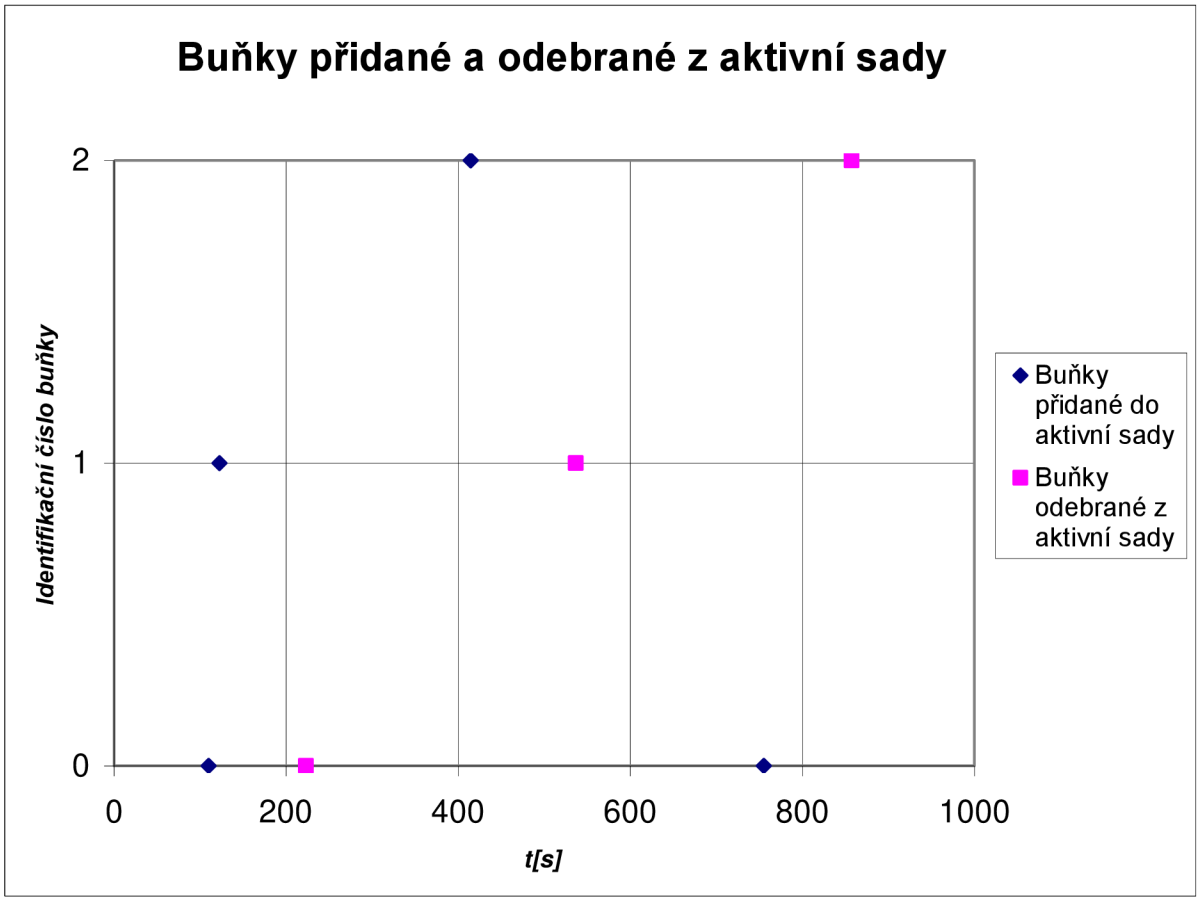
4.2.1 Softer handover

Jak již bylo předesláno, parametr RNC u handoveru byl nastaven na **supported**, což znamená, že je povolen softer handover. Byl tedy zvolen první model, který je zobrazen na Obr. 4.9



Obr. 4.9 Scénář softer handoveru

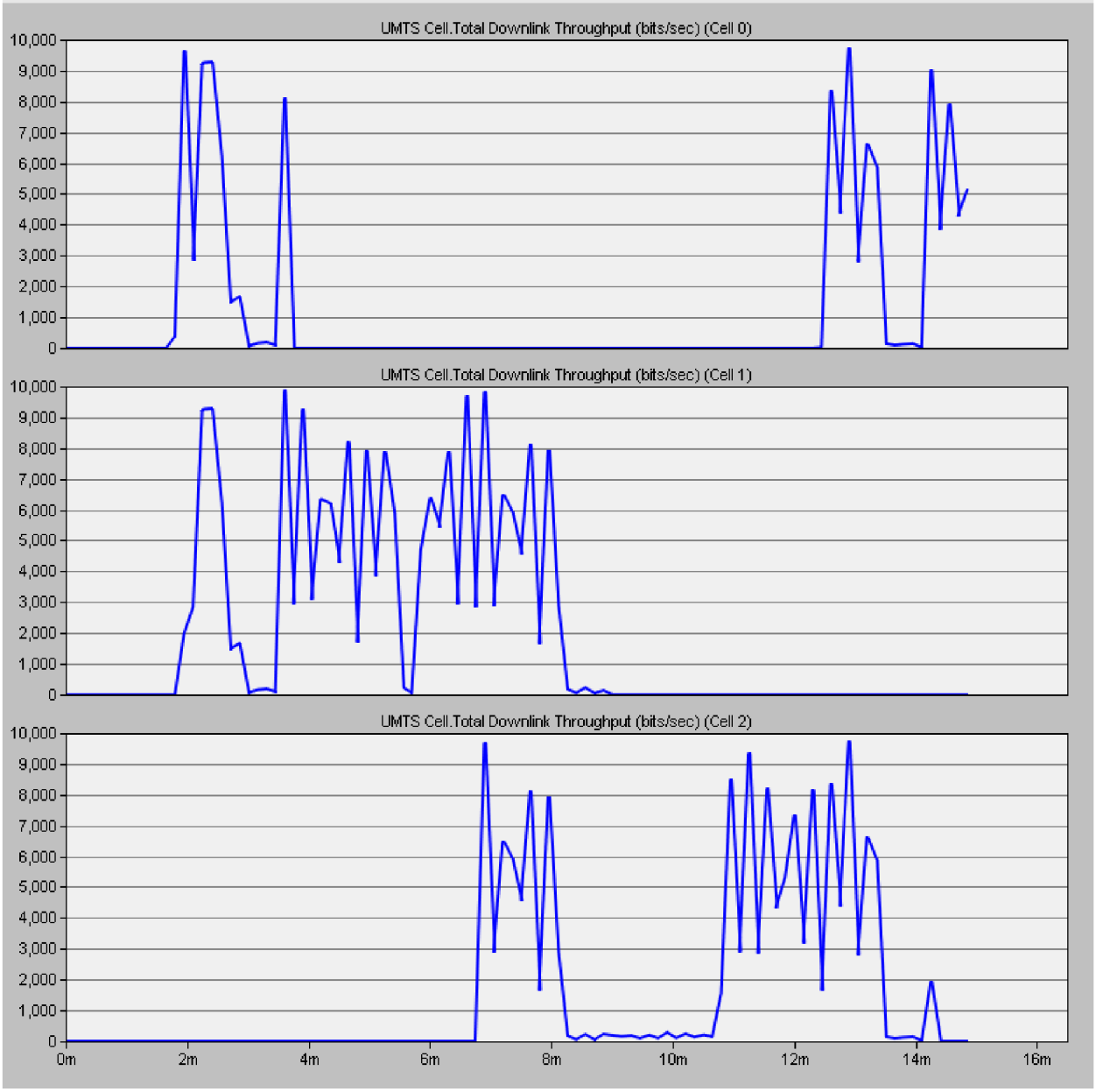
Můžeme zde vidět jednu základnovou stanici (Node B), která se skládá ze třech sektorů. Mobilní terminál má nadefinovanou kruhovou trajektorii kolem celého Node B. Při pohybu mobilního terminálu po definované trajektorii dojde v místě překrytí sektorů k softer handoveru a signál se bude šířit dvěma cestami k základnové stanici. Proto musí být u Node B a v opačném směru u mobilního terminálu využit RAKE přijímač. Postupné přidělování a odebírání buněk z aktivní sady je vidět na grafu Obr. 4.10, ve kterém jsou jak přidané buňky do aktivní sady (modré) tak buňky z aktivní sady odebrané (fialové). Při pohybu mobilního terminálu jsou stále monitorovány pilotní signály ostatních buněk v dosahu mobilního terminálu. Pokud síla určité buňky vzroste nad požadovanou hodnotu, mobilní terminál si jí přidá do své aktivní sady. Jelikož byl nastaven maximální počet buněk v aktivní sadě na hodnotu 2, tak mobilní terminál komunikuje maximálně s dvěma buňkami najednou.



Obr. 4.10 Buňky přidané a odebrané z aktivní sady při softer handoveru

Při komunikaci v prostoru, kde se buňky překrývají, dochází ke zdvojení dat. Tento jev je vidět na Obr. 4.11. Výhodou tohoto zdvojení je, že jak Node B tak mobilní terminál mohou začít vysílat s menším výkonem a tím nebudou tolik rušit ostatní účastníky. Nevýhodou je, že při tomto zdvojení jsou kladeny větší nároky na prostředky sítě. Naštěstí zde si dokáže Node B na fyzické úrovni data sám zrekonstruovat a nezatěžuje tím RNC. Mobilní terminál, jak je zobrazeno na Obr. 4.10 a Obr. 4.11, se na začátku (110-tá sekunda) nachází v dosahu buňky 0. Přidá si ji tedy do aktivní sady. Terminál se začne pohybovat konstantní rychlostí 10 km/h po kruhové trajektorii a přitom stále ohledává okolí a zjišťuje sílu signálů ostatních buněk. Ve 120-té sekundě si do aktivní sady přidává buňku 1. Od této chvíle jsou veškerá data zdvojena a jsou přenášeny v každé buňce s jiným rozprostíracím kódem. Ve 280-té sekundě zjistil mobilní terminál, že signál buňky 0 již zeslábnul pod požadovanou hodnotu, a tuto buňku odebral z aktivní sady a data přestala být zdvojována. Terminál se dál pohybuje středem buňky 1 a v 420-té sekundě se dostal na okraj překrytí buněk 1 a 2, přidal si tedy buňku číslo 2 do aktivní sady a data začala být opět zdvojována. V 540-té sekundě se mobilní terminál dostal za oblast překrytí buněk 1 a 2, pro mobilní terminál je nadále zbytečné udržovat buňku 1 v aktivní sadě, proto jí z aktivní sady odstraní. Další handover nastává v 760-té sekundě, a to mezi buňkou 2 a buňkou 0. Dále se terminál pohybuje k centru buňky 0, kde se v 840-té sekundě odpojuje od buňky 2, a v 900-té sekundě se terminál zastaví a zůstává připojen k buňce 0. Je tedy patrné, že ke zdvojení dat dochází v místě softer handoveru, kde je mobilní terminál připojen ke dvěma buňkám zároveň. V centru buňky je mobilní terminál připojen pouze k jedné buňce. Obr. A.1 nám zobrazuje vysílací výkon FACH (Forward Access Channel) vysílaný mobilním terminálem při pohybu

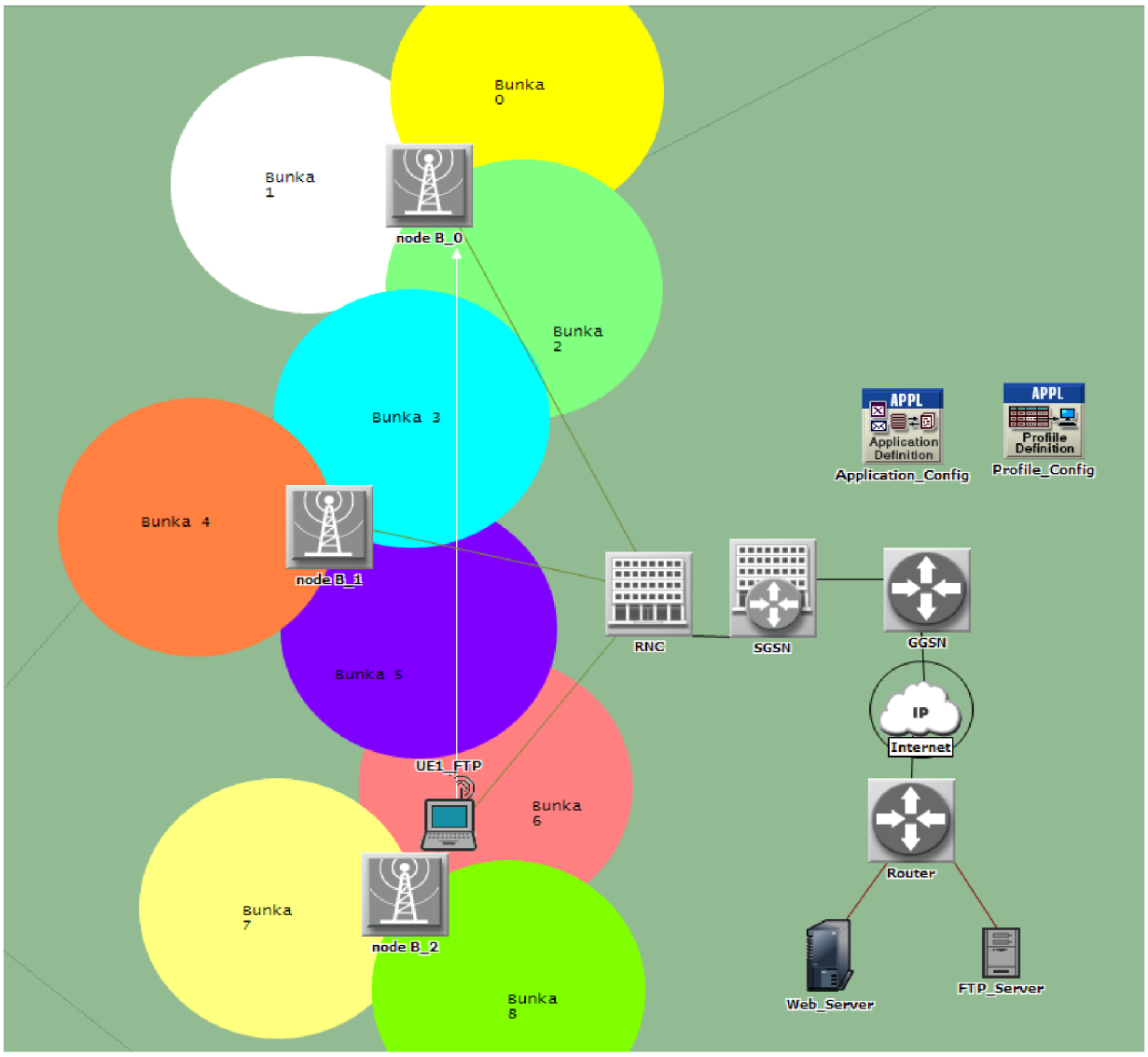
popsaném výše. Je zde patrné, že díky překrytí buněk a kruhové trajektorii blízko Node B je výkon vysílaný mobilním terminálem téměř konstantní.



Obr. 4.11 Propustnost ve směru downlink při softer handoveru

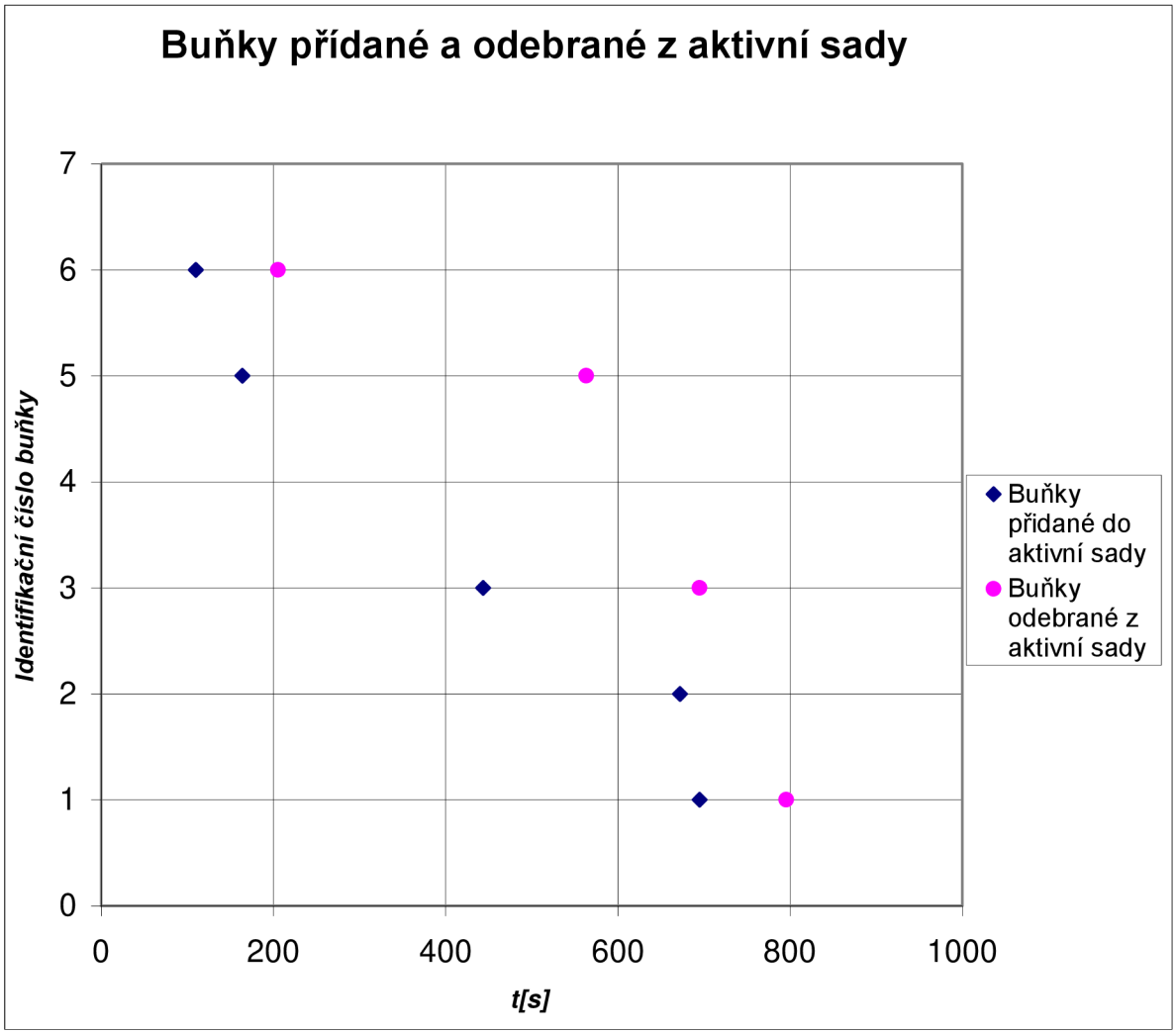
4.2.2 Soft handover

U bloku RNC bylo ponecháno nastavení u handoveru na **supported**, což znamená, že je opět podporován jak softer tak i v našem případě soft handover. Pro tuto simulaci byl vytvořen druhý scénář, který je na Obr. 4.12.



Obr. 4.12 Scénář soft a hard handoveru

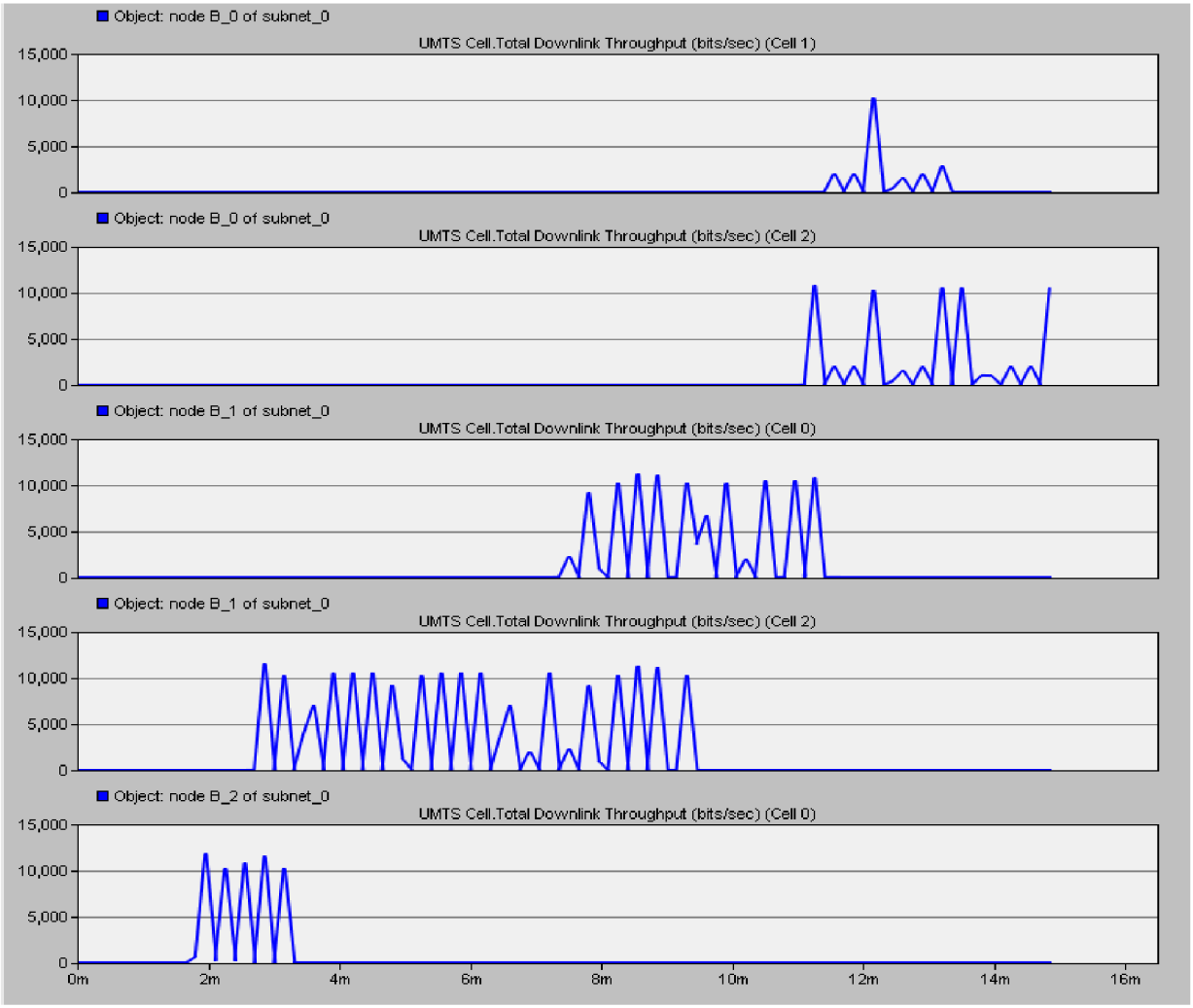
V tomto scénáři je již možno vidět složitější síť buněk. Jsou zde 3 Node B, přičemž každý je složen ze 3 sektorů. To znamená, že v rámci překrytí buněk jednoho Node B nastane softer handover a v rámci překrytí dvou buněk patřícím k jiným Node B proběhne soft handover. Z toho plyne, že soft handover je podstatně náročnější na systémové prostředky. Podstatně více zatěžuje sít, protože signál se v místě soft handoveru šíří v našem případě dvěma směry, a to každý k jiné základnové satanici. Zde již ale není možné, aby si Node B sám zrekonstruoval celý signál. Proto je částečný signál poslán do RNC, který je již schopen složit signály do celku a následně je směrovat dál. U soft handoveru se také využívá RAKE přijímač. Na straně UE, kde v oblasti překrytí buněk jsou přijímány data z více směrů, je RAKE přijímač nutností, ale u Node B by RAKE přijímač nemusel být využit, protože se od UE šíří pouze jeden signál v daný čas. Ovšem i zde se RAKE přijímač používá, a to kvůli interferencím signálu v prostředí, a také kvůli tomu, že rozsáhlé sítě kombinují soft i softer handover. Na Obr. 4.13 je vidět, jak se terminál pohyboval a postupně si přidával a odebíral buňky z aktivní sady.



Obr. 4.13 Buňky přidané a odebrané z aktivní sady při soft handoveru

Model soft handover v sobě obsahuje jak softer tak soft handover. Tato kombinace je podstatně šetrnější k hardwarovým prostředkům. Kdyby byly použity pouze jednosektorové antény, musel by systém použít pouze soft handover a to by značně zvýšilo zatížení sítě, hlavně tedy RNC. Díky kombinaci soft a softer handoveru si dokáže Node B při softer handoveru data sám poskládat a do RNC sou již zaslána jako celek. Tím odlehčí práci RNC a ten se potom může věnovat pouze signálům přicházejících z oblastí soft handoveru. Mobilní terminál, jak je znázorněno na Obr. 4.14 a na Obr. 4.13, se na začátku pohybu (110-tá sekunda) nachází v centrální oblasti buňky 6. Mobilní terminál s pohybuje konstantní rychlostí 10 km/h a stále měří hodnoty pilotních signálů blízkých buněk. Ve 140-té sekundě síla pilotního signálu vzrostla na hodnotu, která je potřebná pro přidání buňky do aktivní sady. Byla tedy přidána buňka 5. Mobilní terminál se nyní nachází v soft handoveru, vysílací výkon tedy klesnul díky komunikaci mobilního terminálu s dvěma Node B. Signály jsou tedy vysílány dvěma cestami, jedna je směrem od UE k Node B1 a druhá od UE směrem k Node B2. Data jsou potom z Node B poslána s menším výkonem do RNC, kde jsou opětovně obnovena s požadovanou velikostí. V 200-té sekundě poklesla síla pilotního signálu buňky 6 pod požadovanou úroveň, buňka byla tedy odebrána z aktivní sady. Mobilní terminál se dále pohyboval v oblasti buňky 5 až do 400-té sekundy, kdy byla do seznamu aktivních buněk přidána buňka 3. V tu to chvíli se mobilní terminál nacházel v softer handoveru, protože obě buňky patřily jedné základnové stanici. Signál se tedy šířil opět dvěma směry, ale jeho

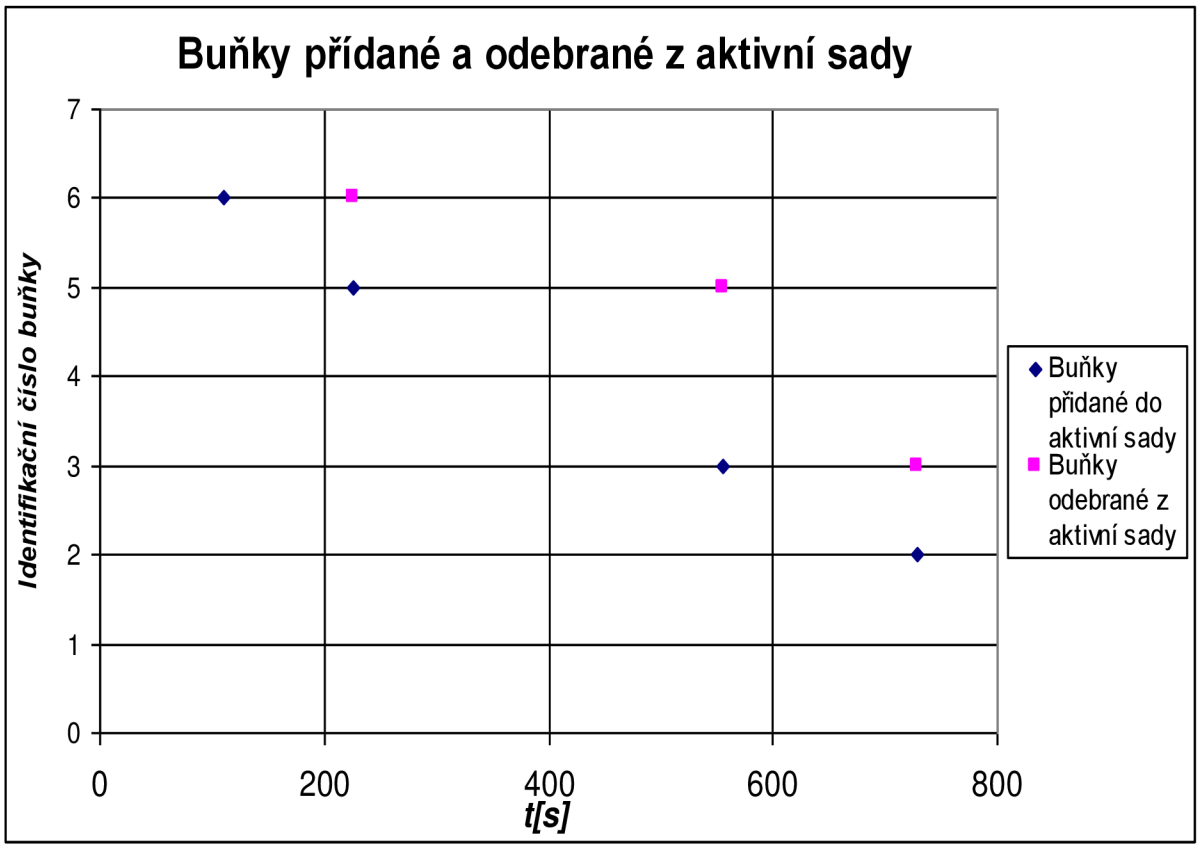
rekonstrukce proběhla v samotném Node B. V 550-té sekundě byla buňka 5 odebrána z aktivní sady. Mobilní terminál se v tom čase nacházel v oblasti buňky 3 a dále prohledával okolí, v 670-té sekundě si do seznamu přidal buňku 2. Tehdy se nacházel v soft handoveru, data tedy byla zdvojena a rekonstruována až v RNC. V 700-té sekundě byla buňka 3 z aktivní sady odebrána a mobilní terminál se nacházel v oblasti buňky 2. Další handover nastal v 710-té sekundě, mobilní terminál si přidal do aktivní sady buňku 1. V tu chvíli se terminál nacházel v softer handoveru, data byla zdvojena, signál byl rekonstruován v Node B. Tento handover probíhal jenom krátce, protože se mobilní terminál opět přepojil v 800-té sekundě do buňky 2, a v 900-té sekundě byla ukončena simulace. Mobilní terminál zůstal v buňce 2. Obr. A.2 zobrazuje vysílací výkon mobilního terminálu při pohybu, který byl popsán výše. Je zde vidět, že v místě, kde se mobilní terminál blíží k okraji buňky, narůstá vysílací výkon. Bylo tedy nutné zvolit optimální hysterezi tak, aby soft handover proběhl s co nejmenším vysílacím výkonem. Při správné volbě parametrů soft handoveru viz Obr. 4.4 je dosaženo, že mobilní terminál vysílá s menším výkonem, než kdyby nebyl soft handover povolen. Pokud bychom nastavili, aby se mobilní terminál připojil k druhé buňce již při slabém pilotním signálu (CPICH), došlo by sice k handoveru, ale s poměrně velkým vysílacím výkonem. Proto je nutné najít kompromis.



Obr. 4.14 Propustnost ve směru downlink při soft handoveru

4.2.3 Hard handover

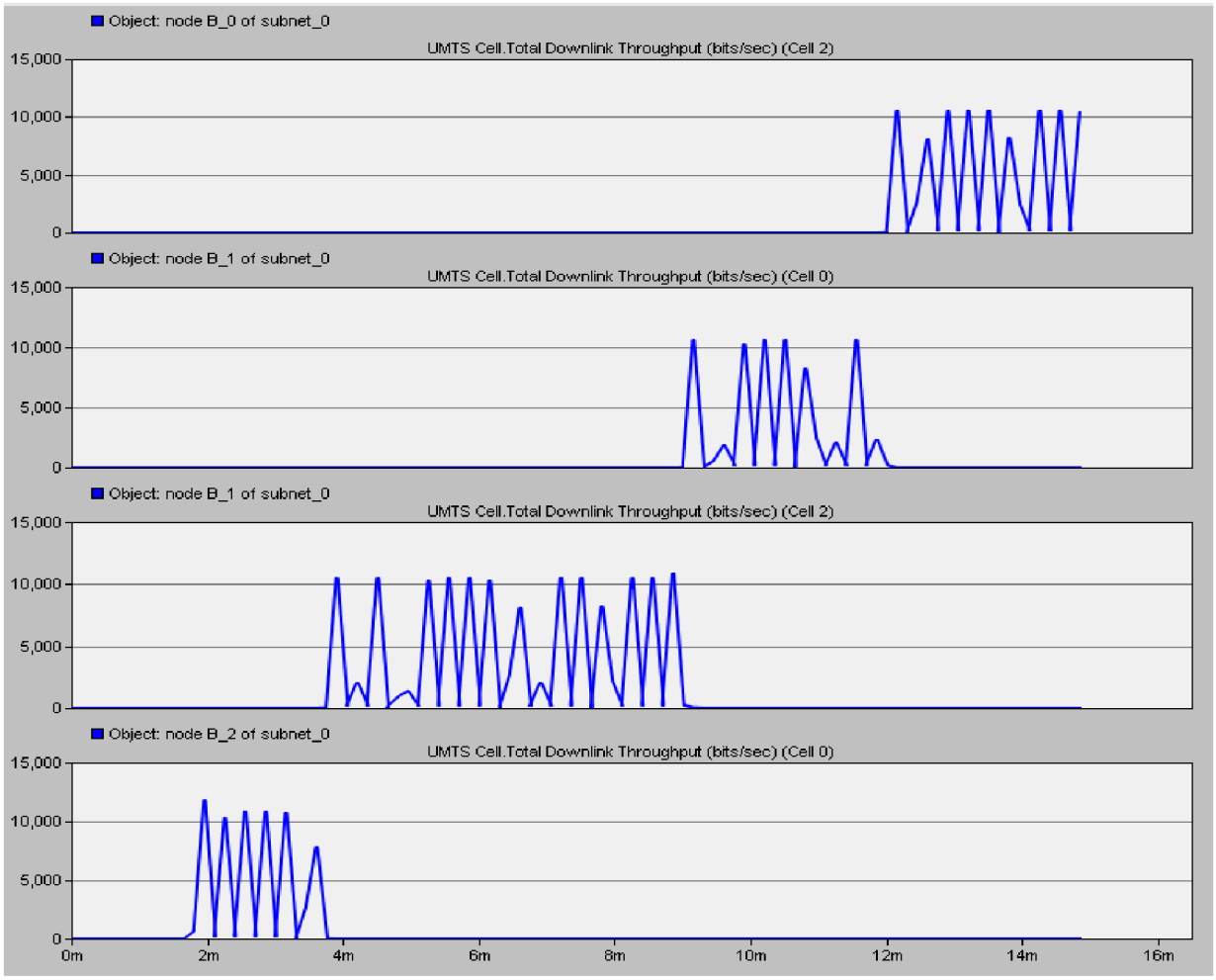
V tomto scénáři byla změněna konfigurace RNC. V položce handover bylo zvoleno **non-supported**, to znamená, že není podporován soft ani softer handover. Dále v položce **Replacement hysteresis** byla pro názornost hard handoveru změněna hodnota z 1 dB na 5 dB. Pro tuto simulaci byl zvolen identický scénář kvůli lepšímu srovnání naměřených hodnot, viz Obr. 4.12. Scénář se opět skládá ze sítě tří třísektorových základnových stanic. Mobilní terminál stále měří velikosti signálu, kvalitu signálu a jiné parametry ostatních blízkých buněk. V případě, že tyto parametry jsou lepší u jiné buňky, než ke které je právě připojen, přepojí se tedy k pro něj výhodnější buňce. Toto přepojení má za následek krátký výpadek spojení, který ovšem není fatální pro většinu spojení, snad jen pro real-time komunikace. Přepojení probíhá tak, že jakmile se mobilní terminál dostane do místa, kde se vyskytuje silnější signál, než jakým disponuje jeho buňka u které je nahlášen, dá příkaz k vybudování nového komunikačního kanálu v buňce s lepším signálem. Potom jsou mobilnímu terminálu sděleny veškeré parametry tohoto nového kanálu. Následně se terminál přepojí z jedné buňky do druhé buňky a teprve až v tuto chvíli zaniká kanál, ze kterého byl mobilní terminál přepojen. Výměnu buněk v aktivním seznamu mobilního terminálu můžeme vidět na Obr. 4.15. Je zde dobře vidět, že vybudování nového kanálu a zrušení kanálu stávajícího probíhá skoro ve stejném čase.



Obr. 4.15 Buňky přidané a odebrané z aktivní sady při hard handoveru

Hard handover je tedy mnohem šetrnější k hardwarovým prostředkům, jelikož nedochází k žádnému zdvojení dat, které by se šířila jinými směry, a tím odpadá i potřebná rekonstrukce jako tomu bylo v případě soft a softer handoveru. RAKE přijímač je zde použit k odstranění vlivu interferencí signálu. Nevýhodou procedury hard handover je vyšší výkon

než produkuje soft a softer handover. Pokud je buňka, ve které se mobilní terminál pohybuje, velká, tak u okraje této buňky musí být signál vysílán se značně velkým výkonem, což velmi zatěžuje zdroj energie mobilního terminálu (akumulátor), a také jsou rušeny ostatní terminály nacházející se v dosahu tohoto signálu. Nicméně se tento handover používá tam, kde není povoleno použít soft nebo softer handover, nebo tam, kde to není z nějakých důvodů možné, např. mezipásmový (interfrequency) nebo mezisystémový (intersystem) handover. Mobilní terminál se začne pohybovat (110-té sekundě) konstantní rychlostí 10 km/h, jak je vidět na Obr. 4.16 a na Obr. 4.15. Na začátku pohybu se nachází v centru buňky 5. Mobilní terminál stále sleduje rádiové okolí a hledá signál, který by byl silnější než je jeho stávající. Ve 230-té sekundě mobilní terminál zjistí, že buňka 5 má silnější signál, přepojí se tedy k této buňce a buňka 6 je odebrána z aktivní sady. Díky tomuto přepojení již nenarůstal vysílací výkon tohoto terminálu. Dále se mobilní terminál pohybuje v buňce 5 až do 540-té sekundy, kdy opět nastane handover a mobilní terminál se přepojí k buňce 3. Při dalším pohybu zjistí mobilní terminál, že buňka 2 má silnější signál než buňka 3, přepojí se tedy v 720-té sekundě k ní. Zde již zůstane až do konce pohybu. Je zde vidět rozdíl mezi funkcí soft a hard handoveru. V soft handoveru (Obr. 4.14) se ještě mobilní terminál připojí k buňce 1, tato situace zde nenastala, protože mobilní terminál nevyhodnotil signál buňky 1 silnější než má prozatím buňka 2. Obr. A.3 zobrazuje vysílaný výkon FACH mobilního terminálu při pohybu popsaném výše. Je zde vidět, že při průchodu oblastí překrytí buněk se vysílaný výkon přeruší a skokově se zmenší na určitou hodnotu. Hodnota tohoto snížení je dána parametrem Replacement hysteresis.



Obr. 4.16 Propustnost ve směru downlink při hard handoveru

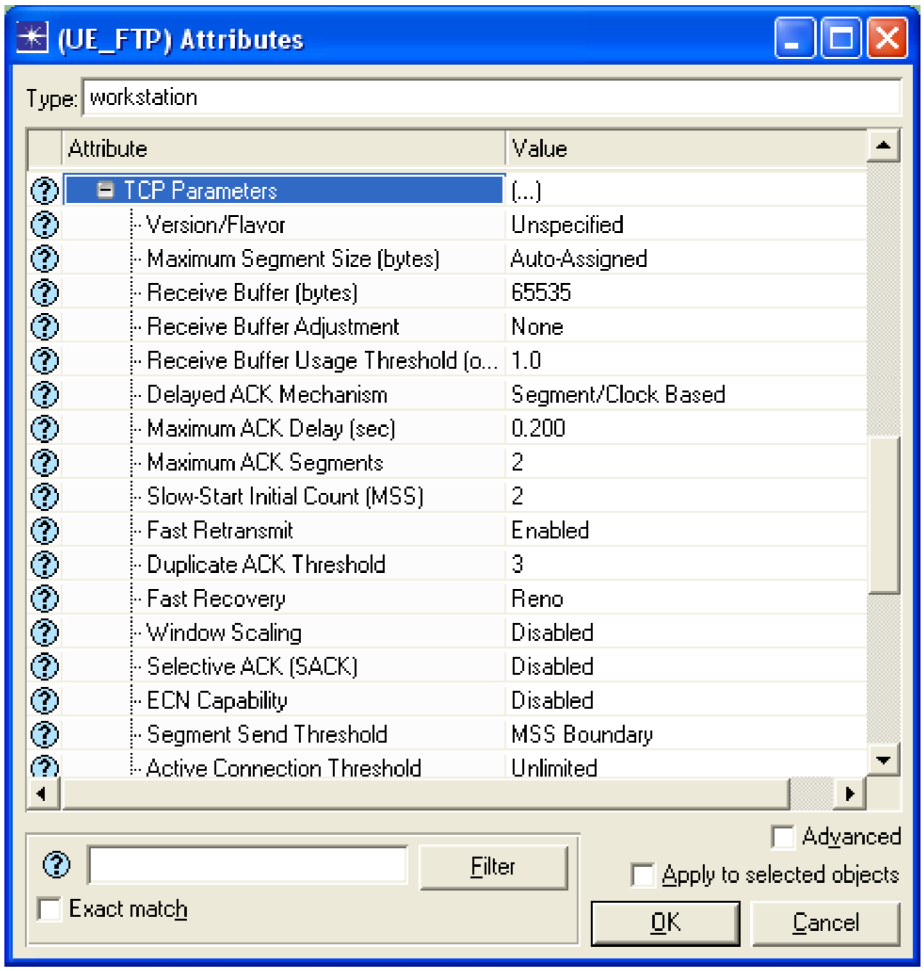
4.3 KONFIGURACE PARAMETRŮ JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ MODELŮ PRO POUŽITÉ APLIKACE

Před samotnou simulací vlivu QoS na provoz sítě budou rozebrány jednotlivé aplikace, které budou v simulaci použity. Tyto aplikace budou různě kombinovány a bude sledována jejich náročnost na prostředky sítě. Budou provedeny simulace bez zařazení aplikací do kvalitativních tříd a porovnány s aplikacemi rozřazenými do kvalitativních tříd.

4.3.1 Konfigurace TCP vrstvy

Zde byly u UE a Serverů nastaveny buffery na maximum. Jelikož při nevhodném nastavení aplikací nebo při větším provozu docházelo k zahazování paketů. Díky nastavení bufferů na maximum se těmto výpadkům předejde. Toto nastavení je na Obr. 4.17.

- **Receive Buffer (bytes)** – jedná se o nastavení vyrovnávacích bufferů, bylo nastaveno 65535 B.

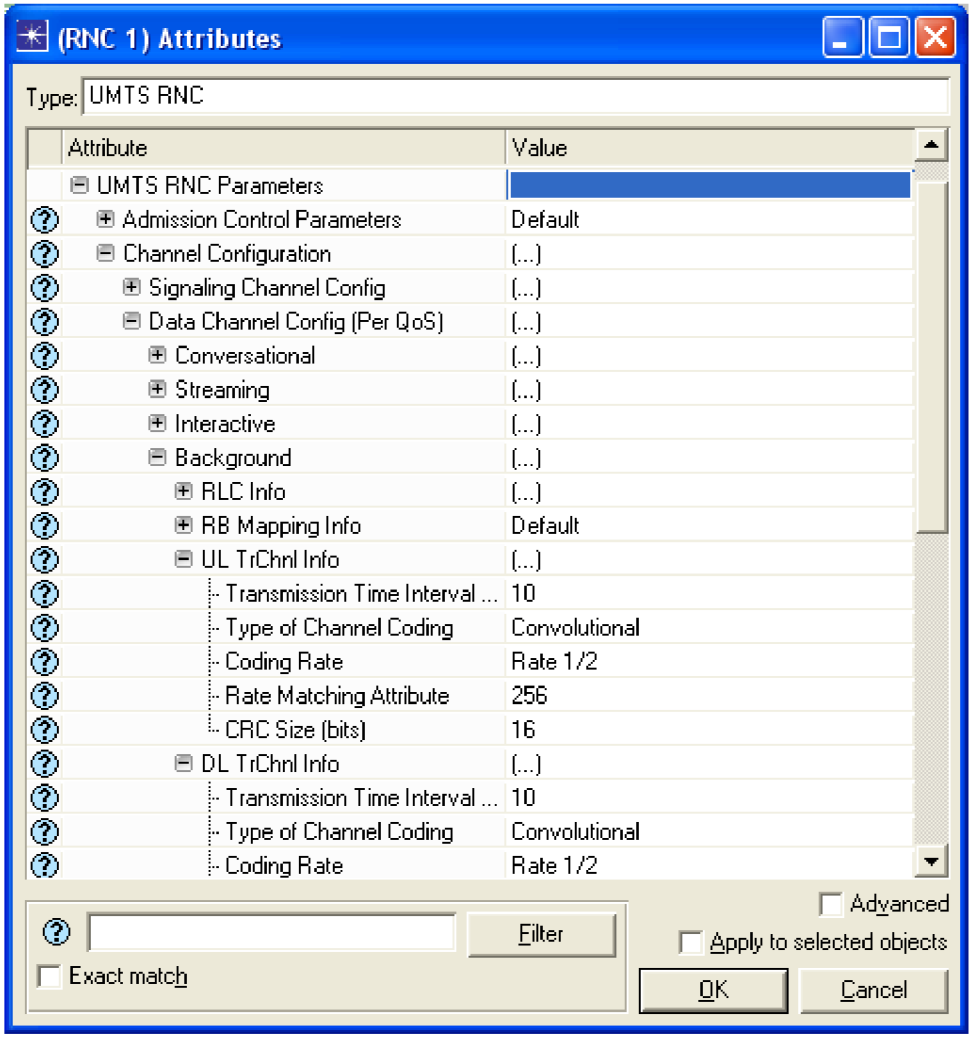


Obr. 4.17 Konfigurace TCP vrstvy

4.3.2 Konfigurace RNC

V RNC byly nastaveny parametry pro různé třídy QoS. Jako první byly všechny aplikace testovány v třídě Background, kde bylo třeba nastavit doby podržení packetu v bufferu před následným odesláním, a to jak ve směru downlink tak ve směru uplink. Ostatní nastavení jako kódovací poměr, zabezpečení, apod. byly ponechány v původní konfiguraci. Nastavení RNC je zobrazeno na Obr. 4.18.

- **Transmission Time Interval (seconds)** – je to čas pozdržení paketu v bufferu. Tento čas byl nastaven na hodnotu 10 s.



Obr. 4.18 Konfigurace RNC

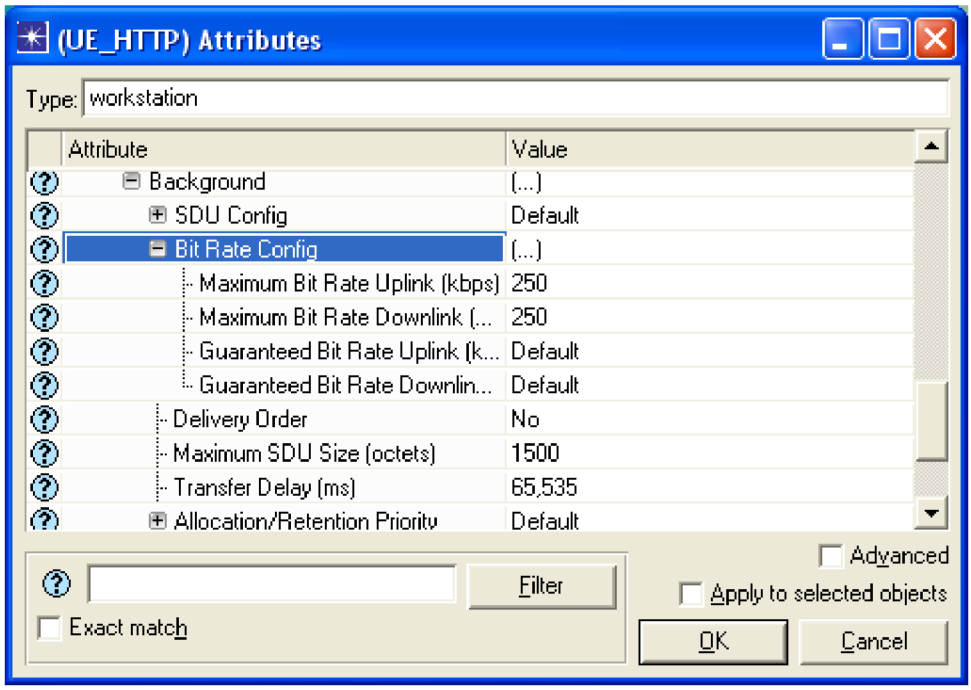
4.3.3 Konfigurace UE

V tomto modelu budou simulovány tři aplikace, a to sice FTP, HTTP a VoIP. Pro každou tuto aplikaci je odlišné nastavení UE, Application config a Profile config. V následující části budou tyto konfigurace rozebrány. U UE je třeba provázat objekt s daným profilem, stejně jak tomu bylo v konfigurační části pro handover Obr. 4.5. Dále je u všech terminálů nutné nastavit maximální přenosovou rychlost mezi terminálem a serverem. Parametry, které nejsou níže popsány, zůstaly v základním nastavení.

Konfigurace UE_ftp a UE_http

Nastavení této konfigurace je pro ftp i http stejné a je zobrazeno na Obr. 4.19.

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru uplink. Tato rychlost byla nastavena na 250 kb/s.
- **Maximum Bit Rate Downlink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru downlink. Tato rychlost byla nastavena také na 250 kb/s.



Obr. 4.19 Konfigurace UE_ftp a UE_http

Konfigurace UE_VoIP

Zde byla nastavena přenosová rychlost v závislosti na kodeku určeném pro VoIP. U této konfigurace se nastavuje ke každému UE jiné parametry. Na jednom UE je nastaven profil a na druhém aplikace, je to kvůli tomu, že je třeba oddělit, kdo je volající a kdo volaný. Pokud bychom měli více mobilních terminálů, které by spolu komunikovaly pomocí VoIP, bylo by nutné pro každou dvojici účastníků nadefinovat, kdo je zdroj volání a kdo je cíl. V tomto případě, kdy komunikuje pouze jedna dvojce, to není nutné.

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru uplink. Tato rychlost byla nastavena na 64 kb/s.
- **Maximum Bit Rate Downlink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru downlink. Tato rychlost byla nastavena také na 64 kb/s.

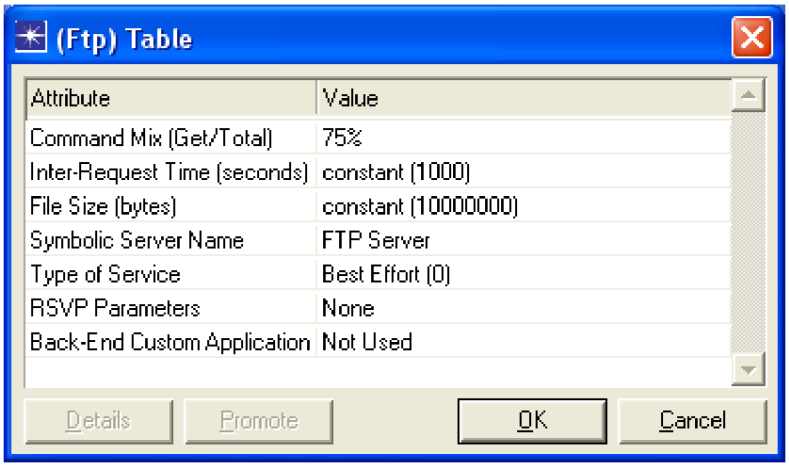
4.3.4 Konfigurace Application config

Zde bude uvedena konfigurace zmiňovaných tří aplikací. Toto nastavení má zásadní vliv na funkci celého modelu. Jsou zde např.: nastavení kodeku pro VoIP, velikosti souboru pro FTP, atd. Parametry, které nejsou níže popsány, zůstaly v základním nastavení.

Konfigurace Application config pro UE_ftp

Zde jsou nastaveny parametry pro službu FTP. Podrobné nastavení je zobrazeno na Obr. 4.20.

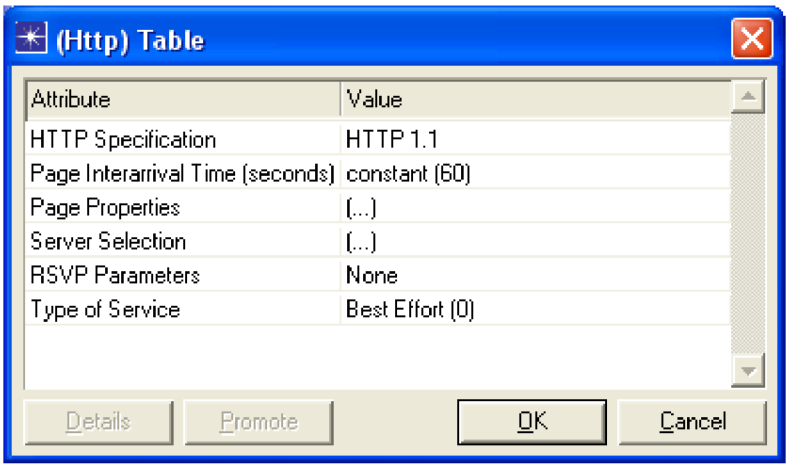
- **Command Mix (Get/Total)** – je to procentuální poměr, který je povolen pro download a upload. Zde byla zvolena hodnota 75%, což znamená 75% download a 25% upload.
- **Inter Request Time (seconds)** – je to doba mezi dvěma žádostmi na FTP server. Bylo zvoleno „constant (1000)“.
- **File Size (bytes)** – je to á velikost souboru odeslaná ze serveru v bytech. Bylo voleno „constant (10000000)“.
- **Symbolic Server Name** – je to jméno severu, se kterým bude probíhat FTP komunikace. Zvolil jsem FTP Server.
- **Type of Service** – jedná s o určení kvality služeb QoS, jelikož přenášení dat není náročné na časové zpoždění. Byla volena služba „Best Effort (0)“.



Obr. 4.20 Konfigurace Application config pro UE_ftp

Konfigurace Application config pro UE_http

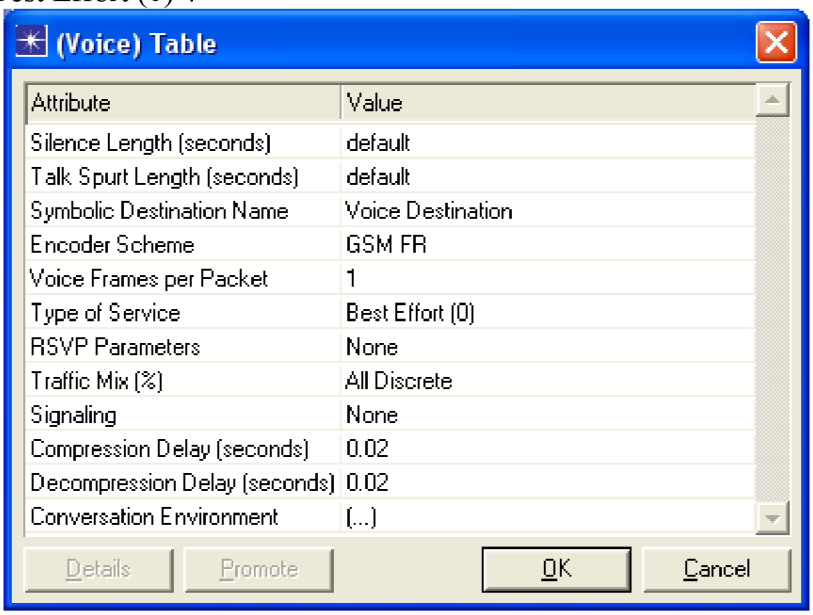
- **HTTP Version** – udává název používané verze protokolu. Zvolíme http 1.1.
- **Page Interarrival Time (seconds)** – je to doba mezi dvěma staženými stránkami. Bylo zvoleno „constant (60)“.
- **Type of Service** – jedná s o určení kvality služeb QoS. Byla zvolena služba „Best Effort (0)“.



Obr. 4.21 Konfigurace Application config pro UE_http

Konfigurace Application config pro UE_VoIP

- **Encoder Schneme** – je to kódovací schéma použité pro zakódování řeči. Zde byl použit GSM FR kodek, který má přenosovou rychlost 13,2 kb/s.
- **Voice Frames per Packet** – udává, kolik dekódovaných hlasových rámců je zapouzdřeno v jednom paketu. Tato hodnota je nastavena na 1.
- **Type of Service** – jedná s o určení kvality služeb QoS. Byla volena služba „Best Effort (0)“.



Obr. 4.22 Konfigurace Application config pro UE_VoIP

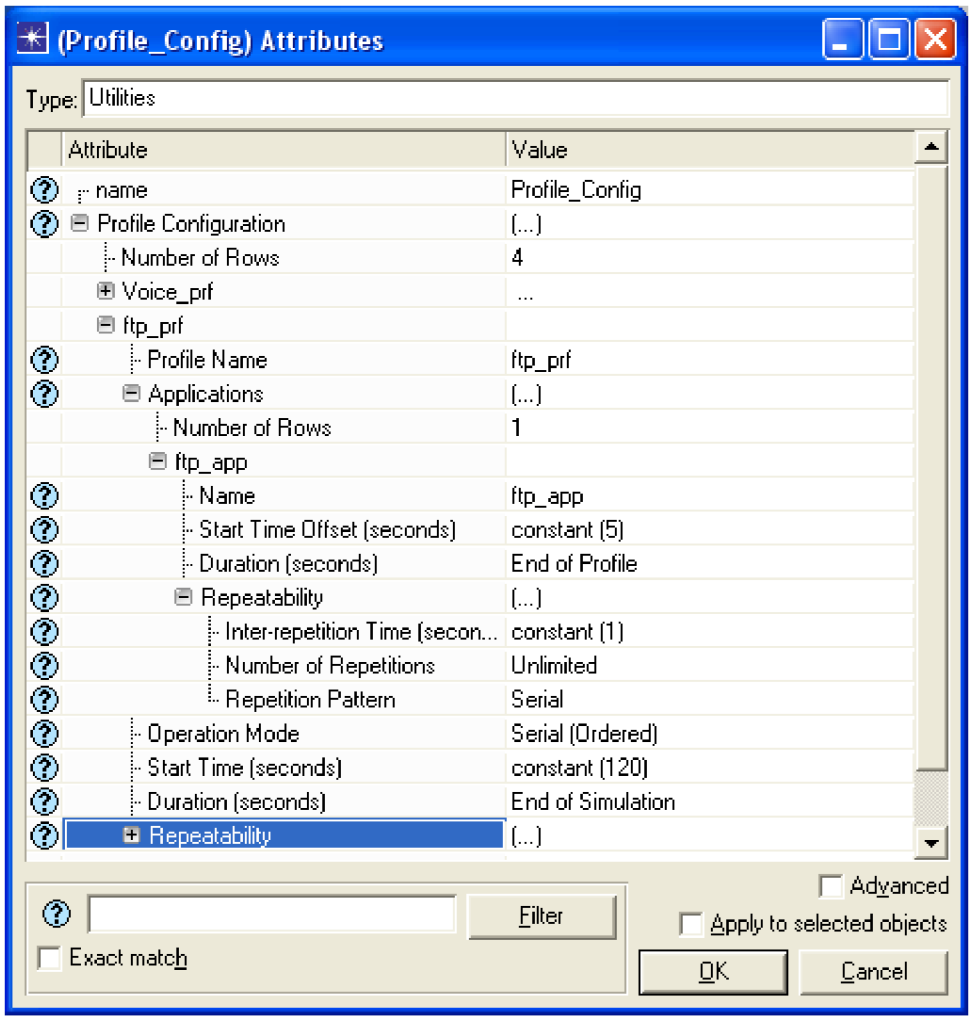
4.3.5 Konfigurace Profile config

V tomto bloku je nastaven profil aplikací dané sítě. Jde především o to propojit dané aplikace s daným profilem. V tomto modelu se nastavuje čas spuštění profilu a aplikace a také jejich doba trvaní. Opět zde budou uvedeny tři různé nastavení profilu. Budou popsány pouze nastavení, které bylo třeba nastavit ostatní zůstaly v původním nastavení.

Konfigurace Profile config pro UE_ftp

Natavení tohoto modulu můžete vidět na Obr. 4.23.

- **Start Time Offset (seconds)** - zde se nastavuje čas spuštění dané aplikace od začátku spuštění profilu. Bylo nastaveno „constant (5)“, to znamená, že se aplikace spustí 5 sekund po spuštění profilu.
- **Duration** – zde se nastavuje doba trvání dané aplikace. Bylo zvoleno „End of Profile“. Jelikož je potřeba, aby data byla přenášena z FTP serveru do mobilního terminálu po celou dobu trvání profilu.
- **Start Time** – je to doba, kdy při spuštění simulace má být spuštěn profil. Byla nastavena hodnota „constant (120)“.
- **Duration** – tento čas je zodpovědný za dobu trvání profilu. Bylo nastaveno „End of Simulation“.



Obr. 4.23 Konfigurace Profile config pro UE_ftp

Konfigurace Profile config pro UE_http

- **Start Time Offset (seconds)** - zde se nastavuje čas spuštění dané aplikace od začátku spuštění profilu. Bylo nastaveno „constant (1)“, to znamená, že se aplikace spustí 5 sekund po spuštění profilu.

- **Duration** – zde se nastavuje doba trvání dané aplikace. Bylo zvoleno „End of Profile“. To znamená, že data budou z HTTP serveru stahována nepřetržitě až do konce profilu.
- **Start Time** – je to doba, kdy při spuštění simulace má být spuštěn profil. Byla nastavena hodnota „constant (120)“.
- **Duration** – tento čas je zodpovědný za dobu trvání profilu. Bylo nastaveno „End of Simulation“.

Konfigurace Profile config pro UE_VoIP

- **Start Time Offset (seconds)** - zde se nastavuje čas spuštění dané aplikace od začátku spuštění profilu. Bylo nastaveno „constant (5)“, to znamená, že se aplikace spustí 5 sekund po spuštění profilu.
- **Duration** – zde se nastavuje doba trvání dané aplikace. Bylo zvoleno„constant (720)“. V tomto případě to znamená, že hovor bude probíhat 720 sekund.
- **Inter-repetiton Time (seconds)** – je to doba mezi dvěma aplikacemi. V našem případě doba mezi dvěma hovory. Tato doba byla nastavena na „constant (60)“.
- **Start Time** – je to doba, kdy při spuštění simulace má být spuštěn profil. Byla nastavena hodnota „constant (120)“.
- **Duration** – tento čas je zodpovědný za dobu trvání profilu. Bylo nastaveno „End of Simulation“.

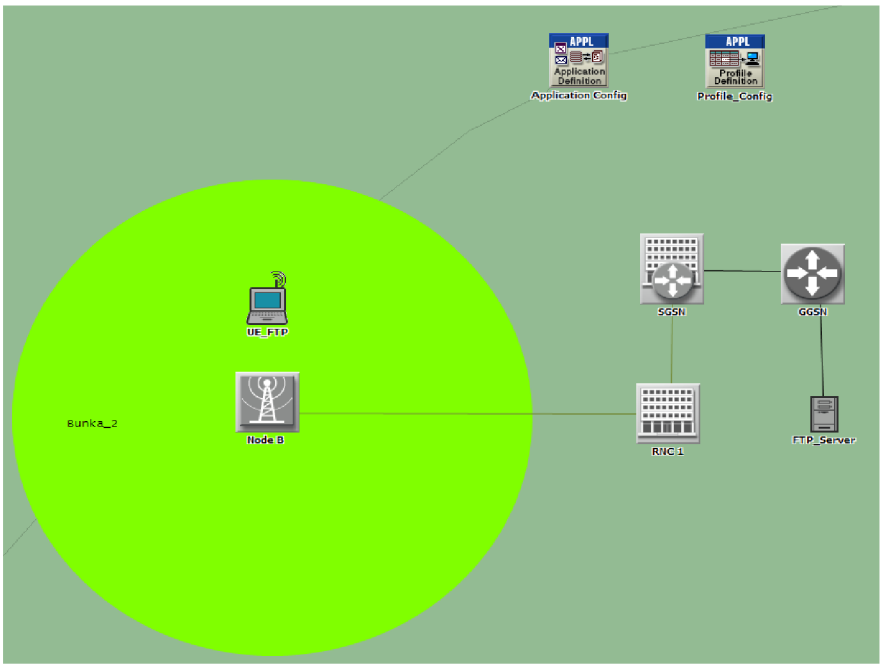
4.3.6 Konfigurace Serverů a Node B

Toto nastavení je podobné jako v části zabývající se handoverem. Liší se pouze nastavení serverů, který má připojenou aplikaci v závislosti na službě, kterou má poskytovat. Nastavení Node B bylo ponecháno také stejné kromě zvoleného typu antény. Zde byla pro lepší přehlednost volena jednosektorová anténa na místo původní třísektorové.

4.4 APLIKACE FTP

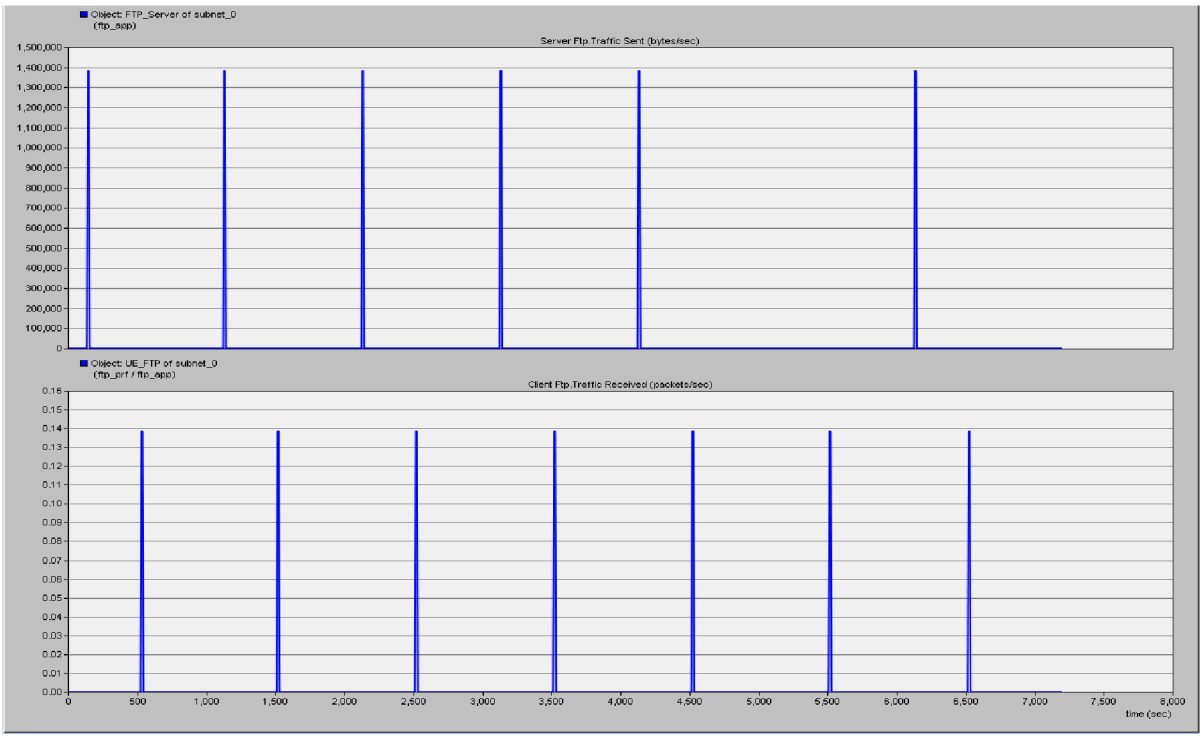
FTP (File Transfer Protocol) je protokol aplikační vrstvy pracující na protokolu TCP. Tento protokol slouží pro přenos informací mezi uživateli. Pracuje na principu klient-server. Pro komunikaci používá dva porty, a to port 20 pro vlastní přenos dat a port 21 pro signalizaci. Server poskytuje data a klienti s těmito daty pracují.

V našem případě máme jako klienta mobilní terminál označený jako UE_FTP a jako server slouží FTP_Server. Navržený scénář pro test této aplikace je zobrazen na Obr. 4.24. Konfigurace jednotlivých prvků jsou popsány výše. Při nastavování parametrů je nutné mít předem spočítánu dobu trvání přenosu jedné dávky dat. Pokud by požadavky o zaslaní dalšího 10 MB souboru byly moc časté, došlo by k zahlcení linky a bufferů a k rozpadu spojení. Proto musí být nastaven **Inter Request Time** na hodnotu o něco vyšší než je doba trvání přenosu nebo musí být zvolena na UE taková přenosová rychlost, aby při dalším požadavku na spojení se serverem nepřesáhla celková přenosová rychlost kapacitu jednoho UMTS kanálu.



Obr. 4.24 Scénář pro FTP aplikaci

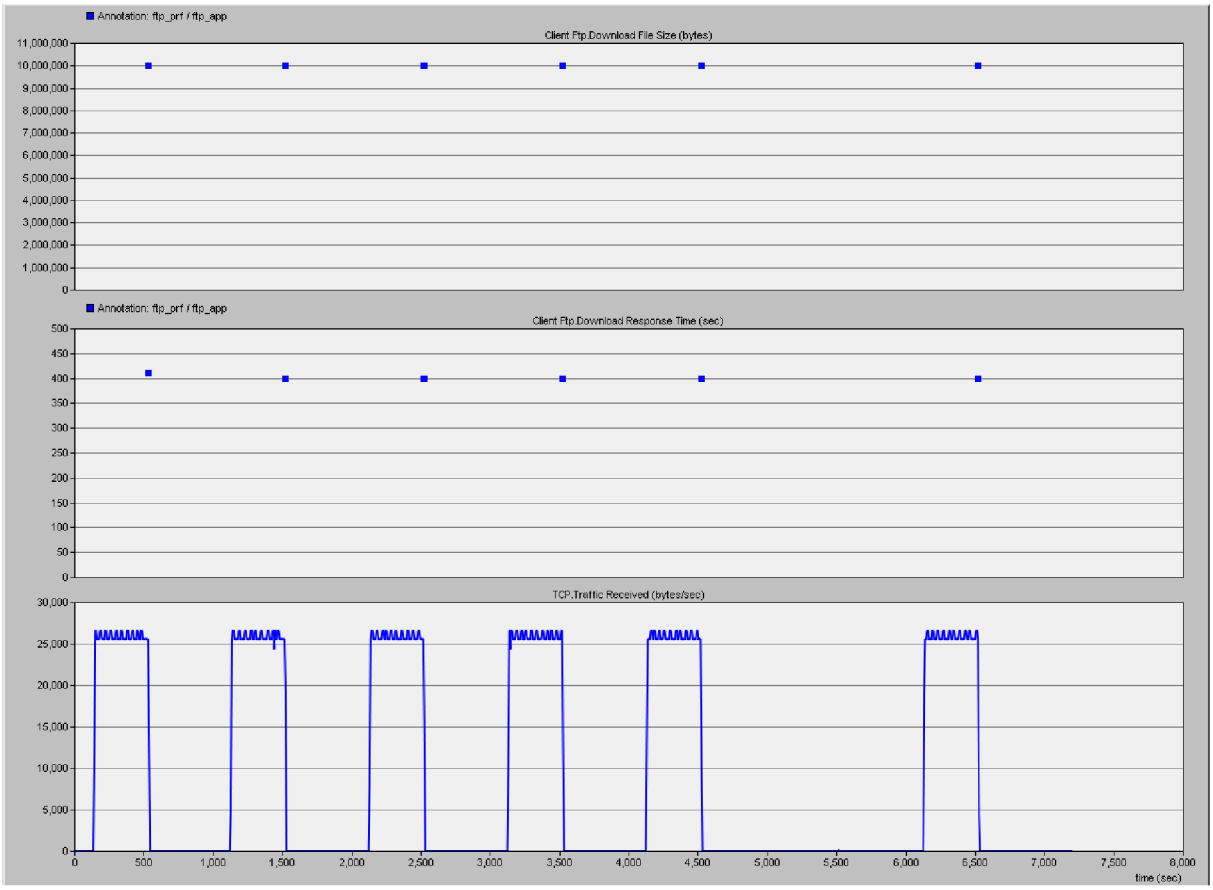
Služba FTP není nijak citlivá na časové zpoždění. Proto je tato služba předurčena pro nejnižší kvalitativní třídu. V reálné síti by FTP používalo maximální možnou rychlost stahování, ale nesmělo by nijak ovlivnit rychlosti služeb ve vyšších třídách QoS. To znamená, že rychlost stahování dat ze serveru je závislá na množství celkového provozu dané linky. Na Obr. 4.25 je znázorněna komunikace mezi FTP serverem a mobilním terminálem. Grafy



Obr. 4.25 Komunikace mezi FTP_Serverem a UE_FTP

znázorňují množství souborů odeslaných ze serveru a množství souborů přijatých mobilní stanicí. Při práci s programem Opnet Modeler bylo zjištěno, že zobrazení grafů je poněkud

nepřesné. Např.: velikost staženého souboru zobrazeného na Obr. 4.25 neodpovídá velikosti souboru zvoleného v aplikaci. Dále pokud bychom si přiblížili jednotlivé přenesené soubory, zjistili bychom, že jsou znázorněny trojúhelníkem, ale soubor byl celý přenesen ve vrcholu tohoto trojúhelníku. Šířka trojúhelníku je také proměnná, a to množstvím vzorků navolených při startu simulace. Kdybychom zvolili velký počet vzorků, nedostali bychom již trojúhelník, ale jednu čáru, která by přesně odpovídala času stažení souboru a zobrazovala by přesnou velikost přeneseného souboru. V našem případě bylo zvoleno za dostačující 1000 vzorků. Po každém přijatém souboru následovalo potvrzení ACK, které ale ovšem není z grafu viditelné, jelikož velikost ACK je několikanásobně menší než stažené soubory. Na Obr. 4.26 je znázorněna velikost souboru staženého z FTP serveru, dále je zde doba trvání přenosu souboru, která se pohybuje kolem 400 sekund při rychlosti 250 kb/s. Poslední část grafu znázorňuje průběh spojení na TCP vrstvě. Zákmity vzniklé na vrcholu signálu jsou způsobeny vzorkováním a zobrazením grafu v Opnet Modeleru.

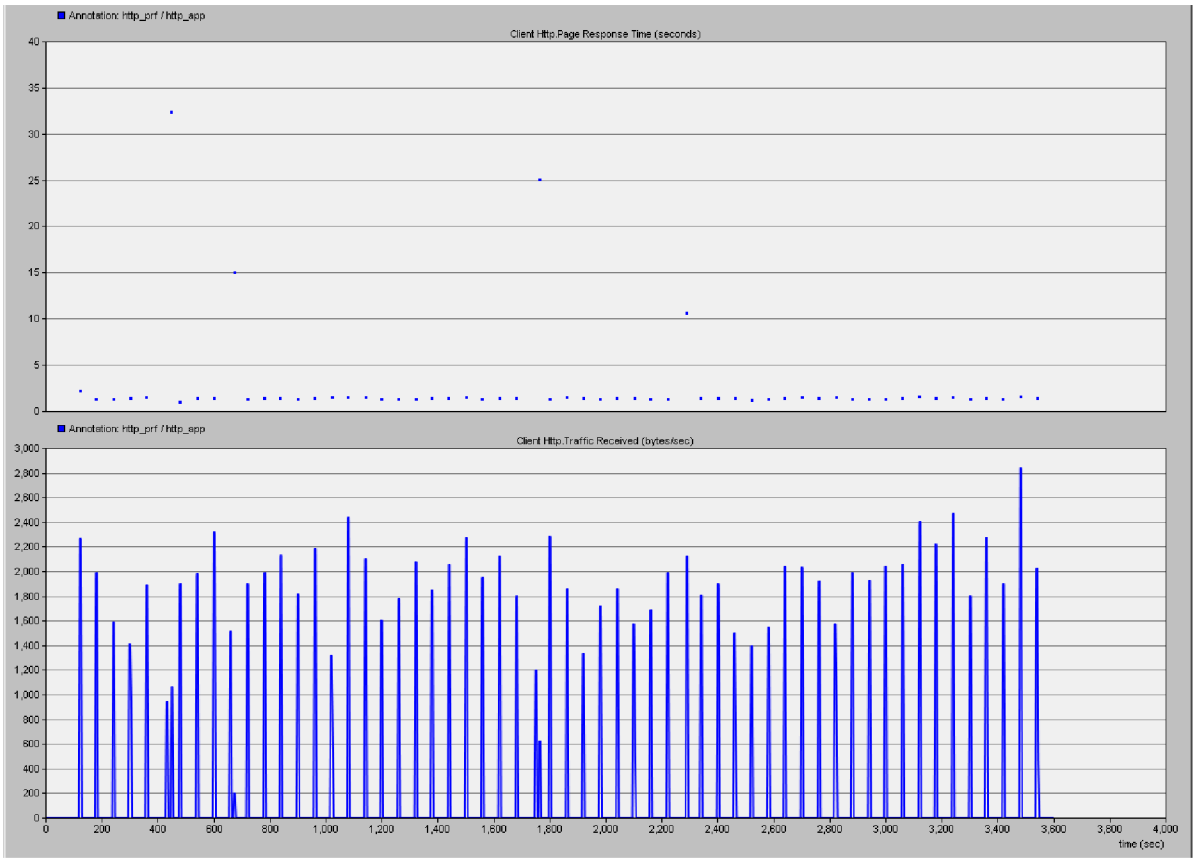


Obr. 4.26 TCP spojení, doba přenosu souboru a velikost souboru

4.5 APLIKACE HTTP

HTTP (Hypertext Transfer Protocol) je protokol původně určený pro přenos hypertextových formátů psaných v HTML kódu. Tento protokol používá pro komunikaci protokolů TCP a naslouchá na portu 80. Komunikace pomocí HTTP funguje na principu žádost - odpověď. Na rozdíl od FTP je tento protokol interaktivní, což znamená, že komunikace musí být poměrně rychlá a reagovat na žádosti uživatele prakticky okamžitě.

Scénář určený pro simulaci HTTP komunikace je prakticky shodný s modelem na Obr. 4.24, jen se k mobilnímu terminálu připojil jiný profil a na serveru byla zvolena HTTP aplikace. Nejprve tedy bude i tato služba testována v nejnižší QoS třídě. Z Obr. 4.27 vidíme poměrně častou komunikaci mezi uživatelem a serverem, je to způsobeno nastavením žádosti na server každých 60 sekund. Znamená to, že si uživatel prohlíží internetové stránky a každých 60 sekund požaduje novou www stránku nebo provede nějakou akci, která vyvolá dotaz na HTTP server. Z grafu je patrné, že na rozdíl od FTP aplikace jsou přenášená data mnohonásobně menší, řádově jednotky kbytes. Dále je zde zobrazena doba nahrání jedné stránky, tato doba se pohybuje kolem 2 sekund. Z toho je zřejmé, že HTTP aplikace bude mnohem náročnější na časové zpoždění než FTP aplikace.



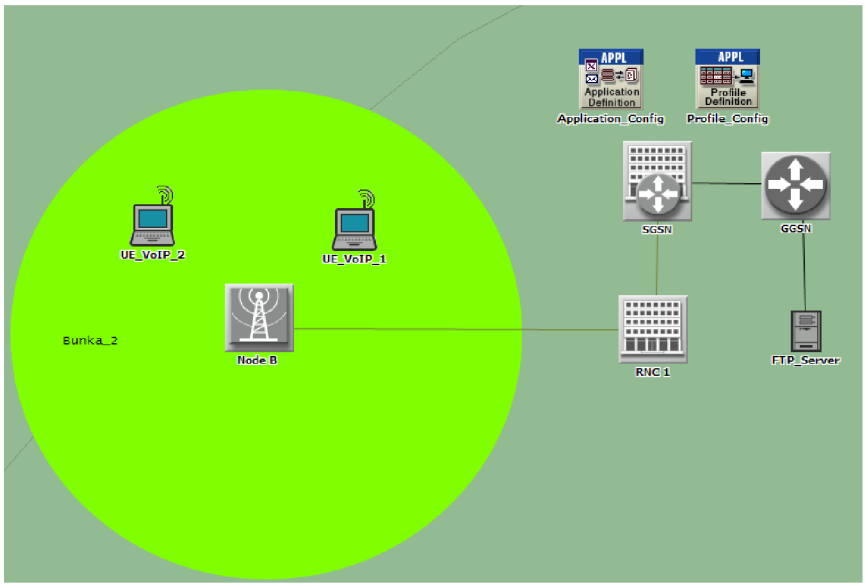
Obr. 4.27 HTTP odezva, přijatá data na straně klienta

4.6 APLIKACE VOIP

VoIP (Voice over Internet Protocol) telefonie se začala rozvíjet s rozmachem paketové komunikace. Jedná se o klasickou telekomunikaci s velkým rozdílem, a to že hovor již není okruhově spínán, ale je použita komutace paketů. Tzn.: hlas je nejprve digitalizován, zakódován, modulován a potom je rozdělen do jednotlivých paketů a přenesen sítí, zde je potom postup stejný jako na začátku jen inverzní. Tato služba pracuje na UDP protokolu. To znamená, že data nejsou nijak zabezpečena proti ztrátovosti paketů. Z toho plyne, že pro tuto komunikaci musí být přesně vyhrazeny síťové prostředky, aby nedošlo ke ztrátě paketů.

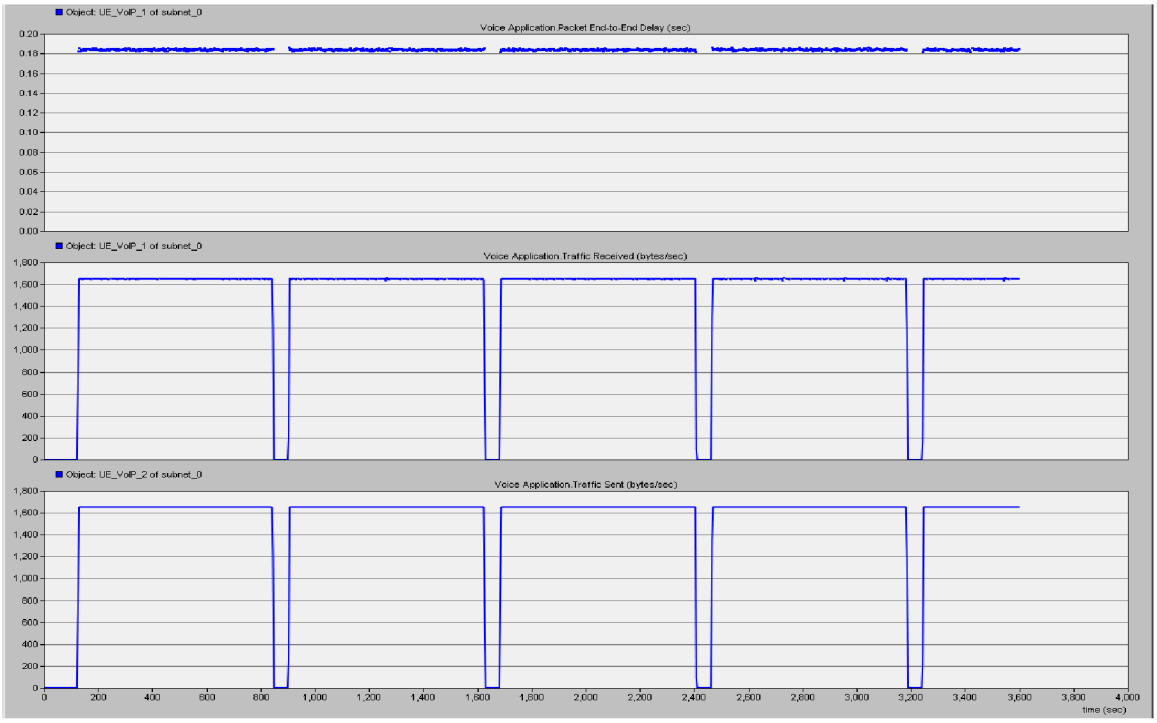
Na Obr. 4.28 je znázorněno schéma použité pro prezentaci funkce VoIP komunikace. UE_VoIP_1 je volající a UE_VoIP_2 je volaný uživatel. Komunikace probíhá jen v rámci dané sítě, tzn.: signál putuje z UE_VoIP_1 do Node B potom do RNC1 dále do SGSN a zpět

k UE_VoIP_2. GGSN není využit, protože směrování hovoru patřícímu k jednomu Node B neprochází do vnější sítě.



Obr. 4.28 Scénář pro VoIP aplikaci

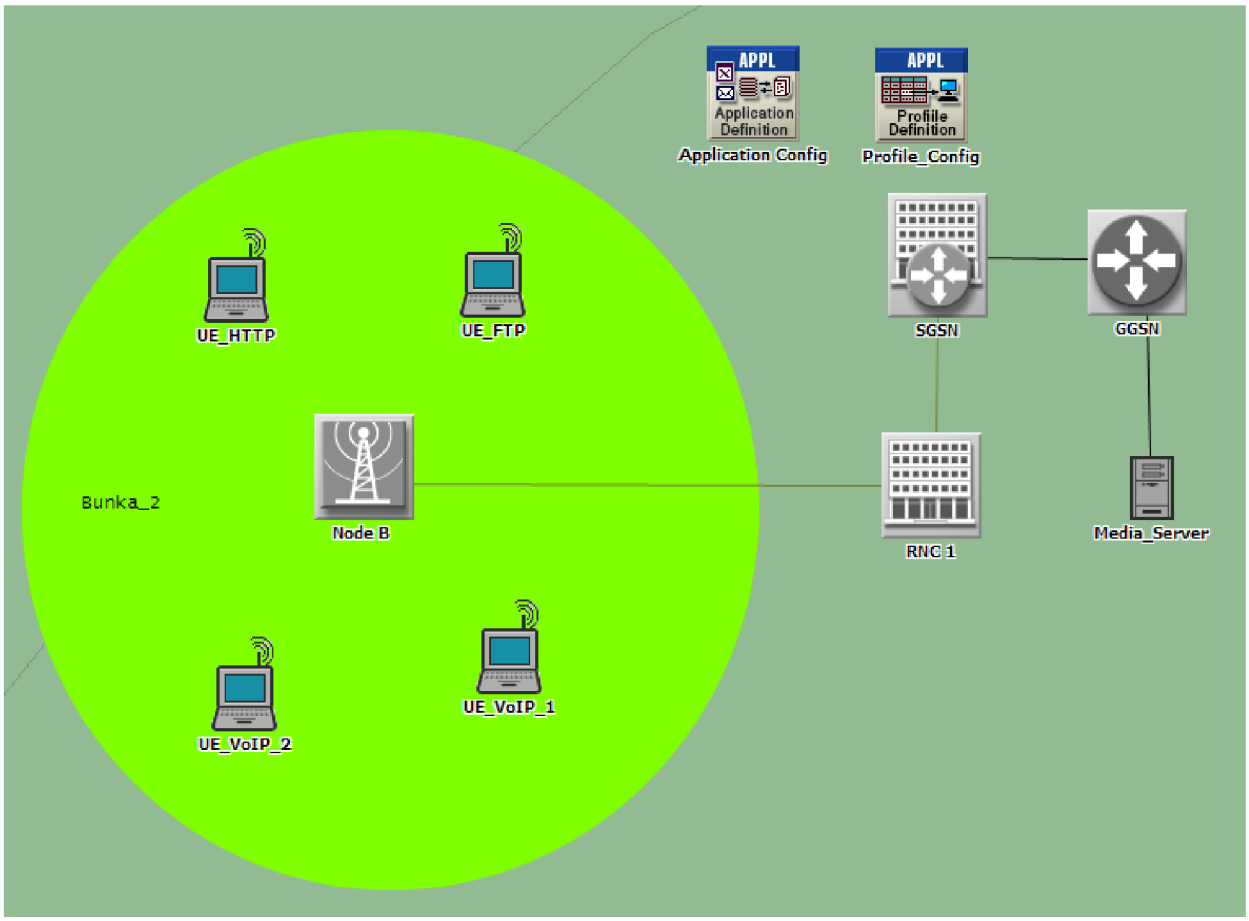
Průběh komunikace na aplikační vrstvě je znázorněn na Obr. 4.29. Délka hovoru a čas, kdy hovor neprobíhá přesně, odpovídají nastavenému profilu. Jelikož byl zvolen GSM kodek, je potřebná šířka pásma pro přenos takto kódovaného hovoru na aplikační vrstvě 1650 Bytes. Z grafů je patrné, že hovor byl přenesen bez problémů v dostačující kvalitě. Z grafu end-to-end delay je zřejmé, že je aplikace velmi náročná na včasné doručení. Vidíme, že hodnota zpoždění je kolem 180 milisekund, což je ještě pro VoIP dostačující. Později bude dokázáno, že při vyšším provozu v této třídě již nebude možné komunikaci uskutečnit a tato služba bude muset být přesunuta do vyšší kvalitativní třídy.



Obr. 4.29 Komunikace mezi VoIP klienty a časové zpoždění hovoru

4.7 PROVOZ SÍTĚ BEZ PODPORY QOS

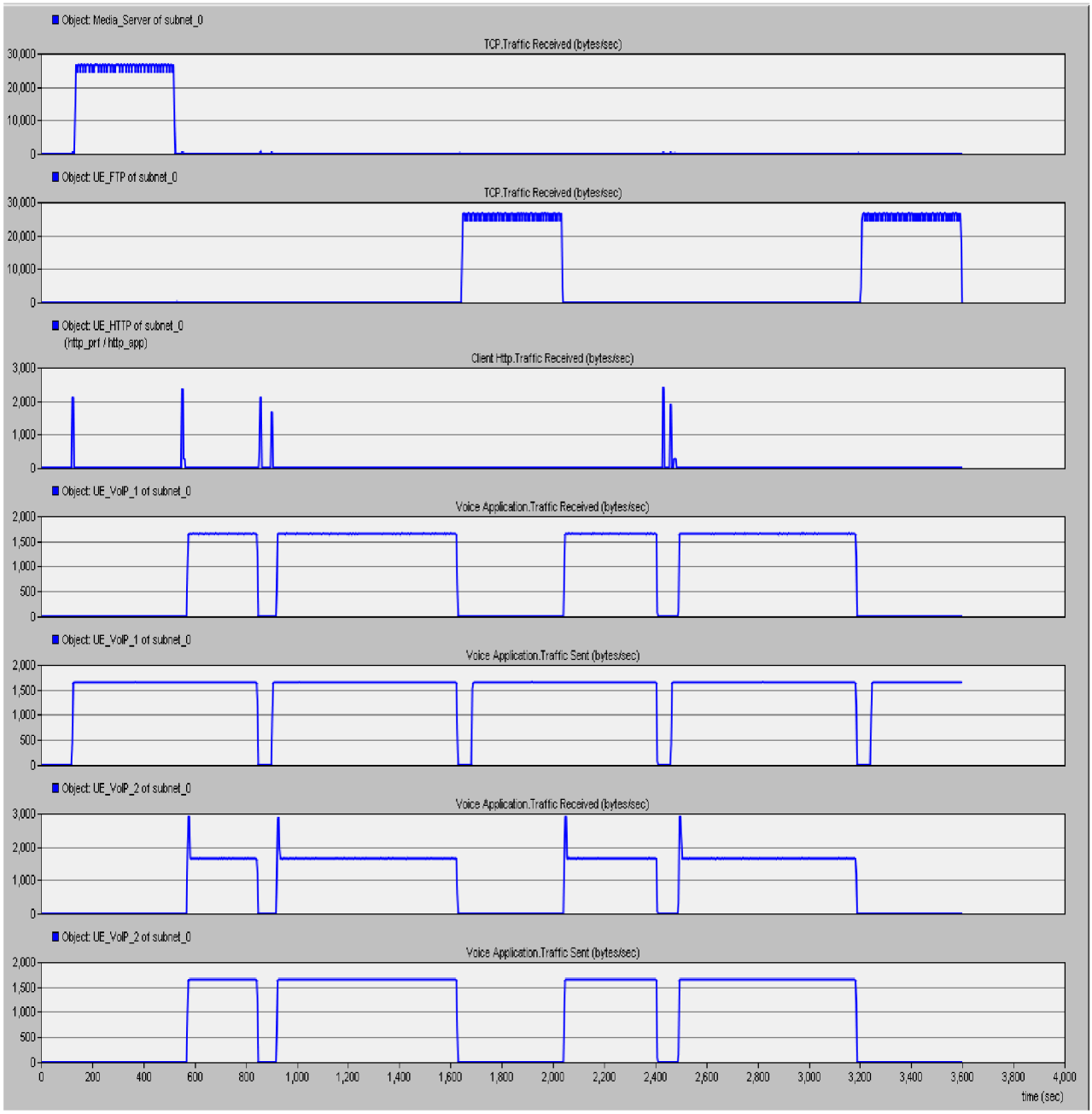
Na Obr. 4.30 je znázorněn scénář, na kterém bude testována komunikace bez podpory a následně i s podporou QoS. Jsou zde čtyři mobilní terminály. Terminál UE_VOIP_1 a UE_VOIP_2 provozují VoIP komunikaci, přičemž UE_1 je volaný a UE_2 je volající. Media server obsahuje FTP aplikaci i HTTP aplikaci. Terminál UE_FTP je připojen na Media server a komunikuje s ním přes FTP protokol. UE_HTTP je také připojen na Media server, ale pro komunikaci používá spojení HTTP.



Obr. 4.30 Scénář pro prezentaci QoS

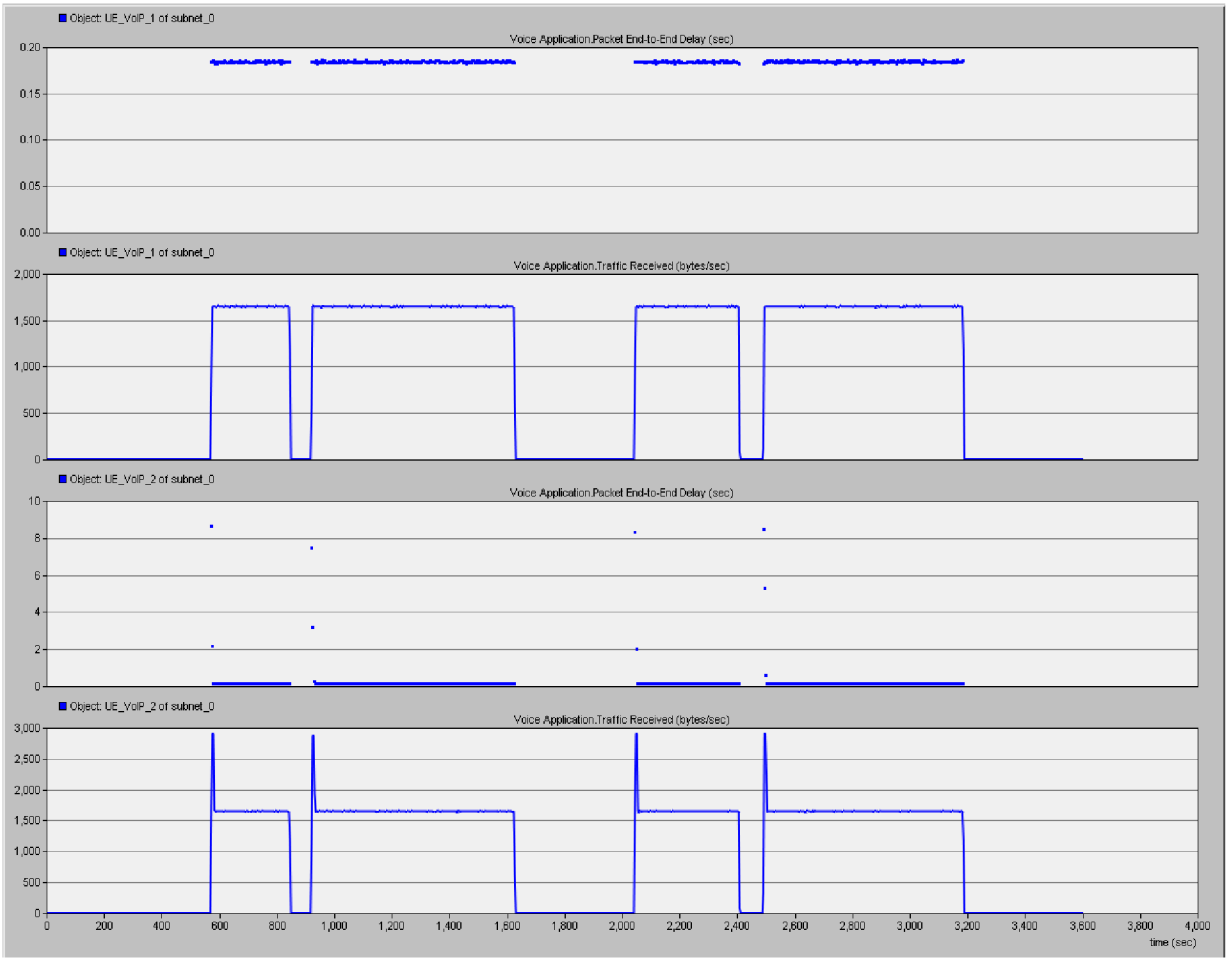
Jednotlivé aplikace a jejich konfigurace byly popsány výše. Nyní se zaměříme na kombinaci všech těchto aplikací, a to bez použití QoS. Všechny aplikace byly zařazeny do nejnižší kvalitativní třídy. Konfigurace těchto aplikací zůstaly stejné, jako když byly testovány každá zvlášť. Na Obr. 4.31 je znázorněn provoz na jednotlivých UE a na serveru bez použití QoS. Můžeme vidět, že z FTP serveru byly staženy dva soubory přibližnou rychlostí 250 kb/s. Délka trvání přenosu jednoho 10 MB souboru trvala opět kolem 400 sekund.

Na grafu s označením UE_HTTP vidíme přenos HTTP souborů. V porovnání s testem aplikace HTTP je patrné, že skoro žádná komunikace neprobíhá. Je to způsobeno zahlcením bufferu daty jiných aplikací. Můžeme tedy pozorovat, že HTTP komunikace probíhá jen v místech, kdy jiné aplikace zrovna nevysílají nebo nepřijímají žádná data.



Obr. 4.31 Provoz sítě bez podpory QoS

Poslední průběhy nám zobrazují VoIP komunikaci. UE_VOIP_1 je volající a začíná hovor. Bohužel jsou v témže čase přenášena data přes FTP protokol směrem od UE k FTP serveru. Jelikož má FTP přenos podstatně vyšší přenosovou rychlost než VoIP, je celý buffer zanesen těmito daty. To má za následek, že sice UE_VoIP_1 vysílá data, ale UE_VOIP_2 žádná data nepřijme. Jakmile přestane probíhat FTP přenos,vyprázdní se buffer a teprve teď začne UE_VoIP_2 data přijímat. Z grafů je tedy patrné, že VoIP komunikace probíhá v pořádku pouze tehdy, když neprobíhá komunikace mezi FTP serverem a FTP klientem. Zde již můžeme vidět velký problém provozu bez použití QoS. Aplikace, která není absolutně nijak závislá na včasném doručení (zde ji představuje FTP aplikace), má při nepoužití QoS největší prioritu. Děje se tak kvůli velké datové rychlosti a velikosti dat, které přenáší, zatím co služby podstatně náchylnější na časové zpoždění jsou touto službou značně omezovány.

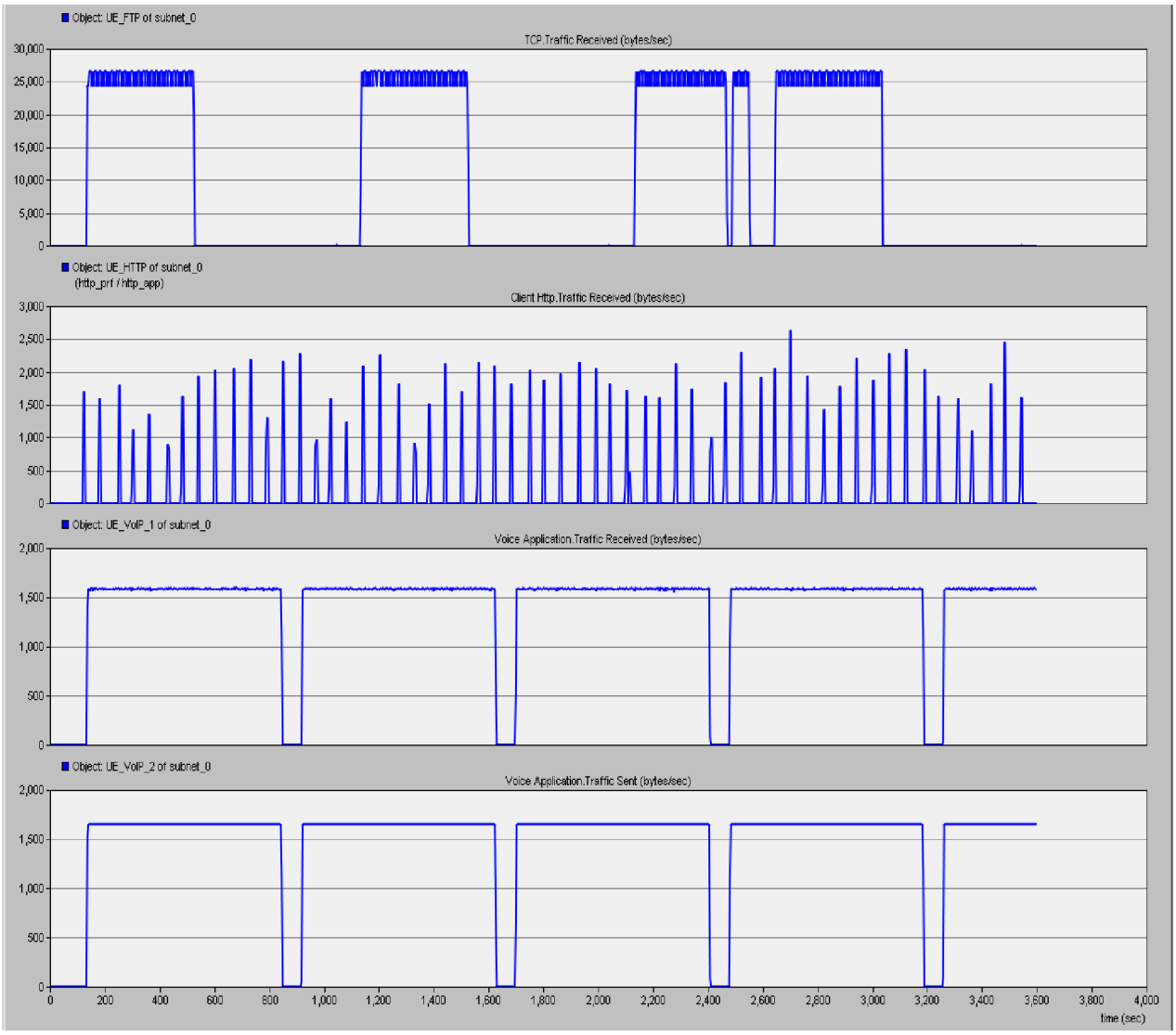


Obr. 4.32 VoIP komunikace bez požití QoS

Na Obr. 4.32 je znázorněn průběh komunikace VoIP při nepoužití QoS. Z grafu end-to-end delay je zachyceno zpoždění přenosu dat mezi koncovými účastníky. Toto zpoždění má přibližnou hodnotu 18 milisekund u každého směru komunikace. U grafu týkajících se UE_VOIP_2 můžeme vidět na začátku přijímání dat překmit. Tento překmit je na straně volaného účastníka a je pravděpodobně způsoben neexistující signalizací mezi UE v průběhu hovoru. Když volající účastník začne vysílat data, na protější straně není ještě volaný připraven data přijímat, tudíž se data uloží do vyrovnávacího bufferu a po aktivaci hovoru na straně volaného jsou tyto data naráz odeslána. Toto způsobuje zmiňovaný překmit a také nárůst zpoždění.

4.8 PROVOZ SÍTĚ S PODPOROU QOS

V tomto scénáři jsou již aplikace rozděleny do příslušných kvalitativních tříd. FTP aplikaci byl přiřazena typ služby na pozadí. HTTP aplikaci byla přiřazena třída interaktivní. A nejvyšší třída konverzační byla přiřazena VoIP aplikaci. Díky rozřazení služeb do tříd je možné nastavit parametry pro každou třídu zvlášť. Každá třída má svoji vlastní frontu (buffer), to znamená, že již nebude docházet k zahlcení linky službou s největší přenosovou rychlostí. Grafy průběhů komunikace s podporou QoS můžeme vidět na Obr. 4.33.



Obr. 4.33 Provoz sítě s podporou QoS

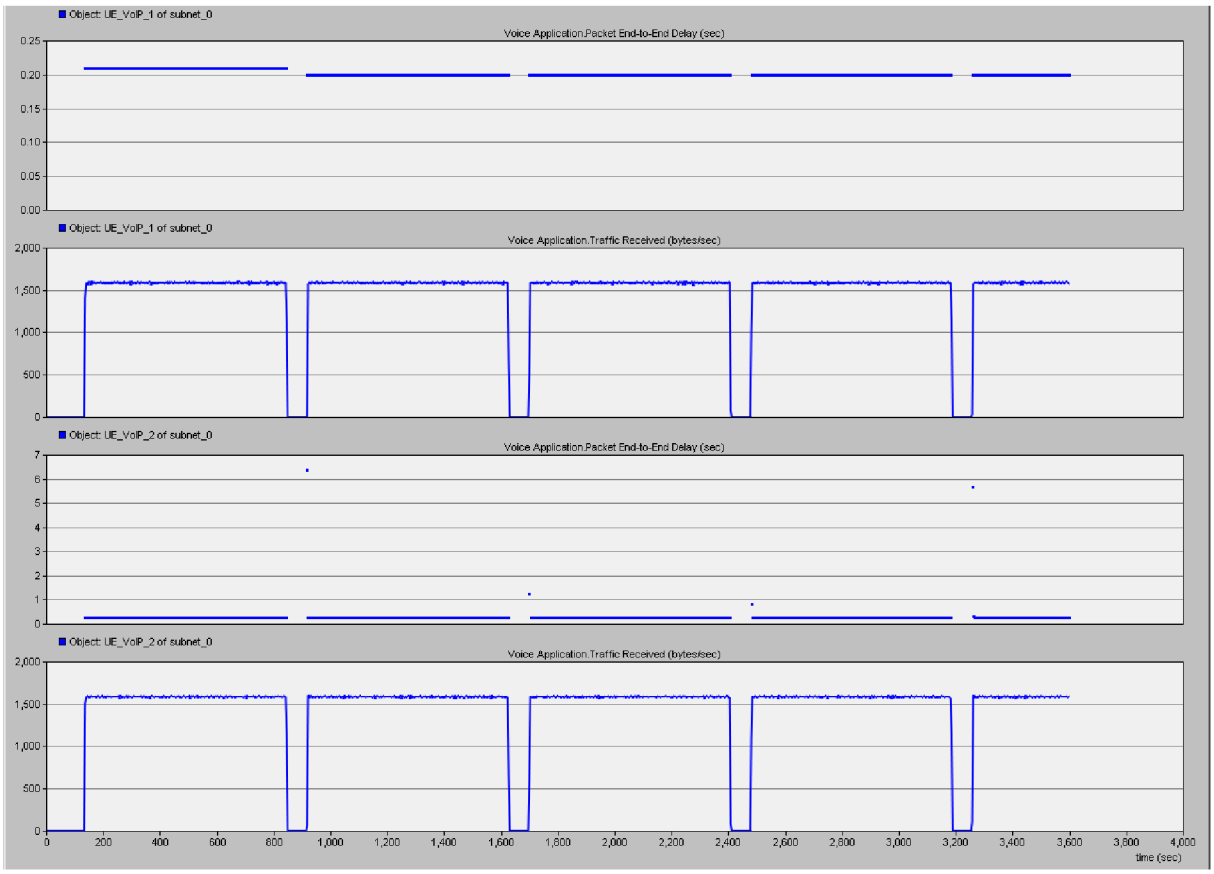
Z grafu pro FTP komunikaci je patrné, že byly přijaty čtyři soubory. Při přenosu třetího souboru došlo ke krátkému výpadku spojení vlivem velké zátěže sítě. Jelikož nevypršely časovače u TCP spojení, komunikace se zas obnovila a soubor byl přenesen celý. Tento výpadek je v pořádku, jelikož je FTP aplikace zařazena do nejnižší kvalitativní třídy.

Z grafu pro HTTP komunikaci je zřejmé, že její přenos je podstatně kvalitnější oproti přenosu bez podpory QoS. Je zde zřetelné použití odlišných front pro každou službu, tudíž nedochází k zahlcení bufferu jednou službou. Přenos HTTP probíhá kontinuálně bez jakýchkoliv výpadků.

Poslední dva grafy zobrazují odeslané a přijaté data při VoIP komunikaci. Opět probíhá komunikace bez problémů. Nedochází k žádným výpadkům signálu vlivem provozu FTP aplikace jako tomu bylo při nepoužití podpory QoS.

Na Obr. 4.34 je znázorněna komunikace mezi VoIP klienty s použitím QoS. Z grafu end-to-end delay můžeme vidět průběh zpoždění mezi koncovými uživateli. Toto zpoždění dosahuje hodnot mezi 200 až 220 milisekund, což už je pro VoIP komunikaci příliš mnoho. Jelikož Opnet Modeler podporuje pouze jeden UMTS kanál, není VoIP komunikace při větším zatížení sítě vhodná. Zpoždění na straně volaného stejně tak jako u scénáře bez podpory QoS dosahuje na začátku spojení příliš velkých hodnot. Pravděpodobná příčina byla

vysvětlena v kapitole 4.7. Ačkoliv jsme zjistili, že v našem případě VoIP komunikace neprobíhá zcela korektně, je patrné, že použití QoS celou komunikaci zlepšilo oproti provozu bez použití kvalitativních služeb.



Obr. 4.34 VoIP komunikace s použitím QoS

5 ZÁVĚR

V této práci jsem se dle zadání zaměřil na problematiku mobilní sítě třetí generace. Na počátku jsem se pokusil shrnout mobilní sítě, které předcházely sítím UMTS. Více jsem se zaměřil na síť GSM, která je součástí stávající sítě UMTS. Dále následoval popis architektury sítě UMTS a byly vysvětleny jednotlivé komponenty, ze kterých je síť složena. Byla vysvětlena nová přístupová metoda WCDMA, která na rozdíl od přístupové metody používané v GSM nemá pevně daný maximální počet aktivních účastníků v buňce. Počet uživatelů komunikujících v jedné buňce je odvozen od rušení, které ostatní mobilní terminály v dané buňce produkují, a od množství jedinečných kódů přiřazených danému sektoru.

V další části jsem se zabýval problematikou handoveru. Podrobně jsem rozebral možné druhy handoveru, a to sice softer, soft a hard handover. U každého druhu handoveru jsem se pokusil vysvětlit jeho výhody a nevýhody a také případy jeho použití. Dále byl popsán přijímač RAKE, který se používá k eliminování vícecestného šíření signálu. Byly vysvětleny jednotlivé možnosti řízení vysílacího výkonu jak ve směru uplink tak ve směru downlink.

V další části byla objasněna funkce QoS služeb a byly popsány čtyři QoS třídy, které používá UMTS síť.

Dále jsem se věnoval simulačnímu prostředí Opnet Modeler. Zde jsem rozebral jeho základní části, se kterými je možno pracovat. Byly také nastíněny problémy, které se naskytly při modelování sítí UMTS, následně je popsáno řešení těchto problémů. Dále jsem se již zabýval praktickou částí mého projektu. Nejdříve jsem si upravil model sítě, který jsem obdržel k simulaci, potom byly nakonfigurovány parametry u jednotlivých částí sítě.

Po této konfiguraci jsem začal s první simulací, a to se softer handoverem. Z grafů je patrná funkce softer handoveru. Při průchodu mobilního terminálu oblastmi, kde se buňky jedné základnové stanice překrývají, dochází ke zdvojení dat a přenosu dat přes dvě sousední buňky jednoho uzlu Node B. To mělo za následek snížení vysílacího výkonu, ale zvětšení počtu kódů použitých pro jeden terminál. Velkou výhodou je, že zdvojená data jsou zkombinována již v Node B a díky tomu nejsou dvojnásobně zatěžovány spoje mezi Node B a RNC, jak tomu je u soft handoveru. Dalším simulovaným scénářem byl soft handover. Zde je signál na straně mobilního terminálu opět zdvojen, ale jak vyplývá z grafu, šíří se každý k jinému Node B. Výhodou je snížení vysílacího výkonu. Nevýhodou je, že tento handover klade podstatně větší nároky na prostředky sítě, protože signál nemůže být eliminován v Node B, ale musí být poslán do vyšší vrstvy, kterou disponuje až RNC. Poslední simulací byl hard handover. Princip tohoto handoveru se liší od předchozích typů v tom, že mobilní terminál může být v jeden čas připojen pouze k jedné buňce, a to k té, která disponuje kvalitnějším signálem. Mobilní terminál při svém pohybu prohledává okolí a zjišťuje, která buňka má silnější signál než jeho stávající. Jakmile takovou buňku najde, vytvoří si v ní kanál, kam se přepojí, a zruší již nepožívaný kanál v předchozí buňce. Výhoda je, že tento handover není náročný na prostředky sítě, jelikož nedochází k vícecestnému šíření signálu. Nevýhodou je, že na okrajích buňky vysílá mobilní terminál se značně velkým signálem a ruší ostatní uživatele. Obr. A.4 zobrazuje průměrný vysílací výkon FACH mezi soft a hard handoverem. Z tohoto grafu je patrné, že v oblasti překrytí buněk vysílá mobilní terminál při použitém soft handoveru s menším výkonem než pří použitém hard handoveru. Tento rozdíl výkonů je zde poměrně malý díky topologii rozmístění buněk. Kdybych v simulaci použil například jednosektorové Node B, byl by rozdíl mezi soft a hard handoverem více patrný.

Dále jsem se zabýval simulací vlivu QoS na celkový provoz sítě. Nejprve byla popsána konfigurace všech částí sítě. Potom byly popsány jednotlivé aplikace, které byly následně použity k simulaci provozu v UMTS síti. Nastavení těchto aplikací je klíčové pro celou simulaci, protože pokud by byly aplikace nastaveny nevhodně, nedobrali bychom se

k správným výsledkům a celá simulace by ztratila význam. Dále již byla popsána komunikace bez použití QoS. Byly zvoleny tři aplikace, a to sice FTP, HTTP a VoIP. Při komunikaci těchto služeb ve stejné třídě je patrné, že aplikace s největší přenosovou rychlostí zaplní svými daty buffer a ostatní provoz nemůže korektně pracovat. V tomto případě FTP, která má nejmenší nároky na časové zpoždění zabrala celou linku a ostatní aplikace byly potlačeny. VoIP komunikace probíhala jen když neprobíhal žádný TCP provoz. HTTP aplikace probíhala pouze v místech, kdy žádná jiná aplikace nebyla aktivní. Při rozřazení stejných služeb do patřičných tříd se provoz podstatně zlepšil, jelikož každá QoS třída disponuje vlastní frontou. FTP komunikace probíhá korektně, ale v případě velkého provozu sítí se může stát, že komunikace s FTP serverem se dočasně přeruší nebo dojde k úplnému zrušení přenášeného souboru. V reálné síti by k úplnému výpadku pravděpodobně nedošlo, protože při velkém zatížení sítě poklesne sice přenosová rychlost aplikace v nejnižší třídě, ale nemělo by dojít k úplnému výpadku. Opnet nepodporuje žádné kolísání rychlosti, buď data přenáší předem nadefinovanou rychlostí nebo, pokud nemá k dispozici potřebnou šířku pásma, komunikaci ukončí. HTTP aplikace funguje správně, data jsou přenášena kontinuálně bez výpadků. VoIP komunikace se také zlepšila, nedochází již k výpadkům hovoru, ale zpoždění, které je při komunikaci dosáhnuto, není pro VoIP komunikaci vhodné.

Pomocí simulací jsme zjistili, že ideální UMTS síť by měla používat kombinaci soft a softer handoveru. Dále je určitě nutné používat podporu QoS, která by absolutně vyhovovala požadavkům uživatele až na větší zpoždění u VoIP komunikace. V reálné síti by to ovšem nebyl problém jelikož reálná UMTS používá až šest kanálu po 320 kb/s při kódovacím poměru 1/3, což podstatně zvýší šířku pásma a k tak velkému zpoždění by již docházet nemělo.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] HANUS, S., *Rádiové a mobilní komunikace,* [cit. 2008-10-10], Skripta VUT, Brno, 2005.

[2] MOLNÁR, J. *Úvod do 3G a UMT* [online]. 2005 [cit. 2008-10-12], Dostupný z WWW: <*http://www.umts.wz.cz/start.htm*>.

[3] NOVOTNÝ, V., *Sektorizace a handover v sítích UMTS*, [cit. 2008-10-10], Skripta VUT, Brno

[4] *Opnet Modeler,* [cit. 2008-11-10], Dostupný z WWW*:* <*http://www.opnet.com*>

[5] PERÉZ - ROMERO, J., SALLENT, O., AGUSTÍ, R.. *Radio Resource Management Strategies in UMTS*., 2005., [cit. 2008-10-19], ISBN-13 978-0-470-02277-1. Chichester (England): Willey, c2005. 345 s. ISBN 0-470-02277-9

[6] RICHTR, T. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. [2002] [cit. 2008-10-10]. Dostupný z WWW: <http://www.tomas.richtr.cz/mobil/>.

[7] 3gpp [online]. [cit. 2008-11-20], Dostupný z WWW:<*http://www.3gpp.org*>

SEZNAM ZKRATEK

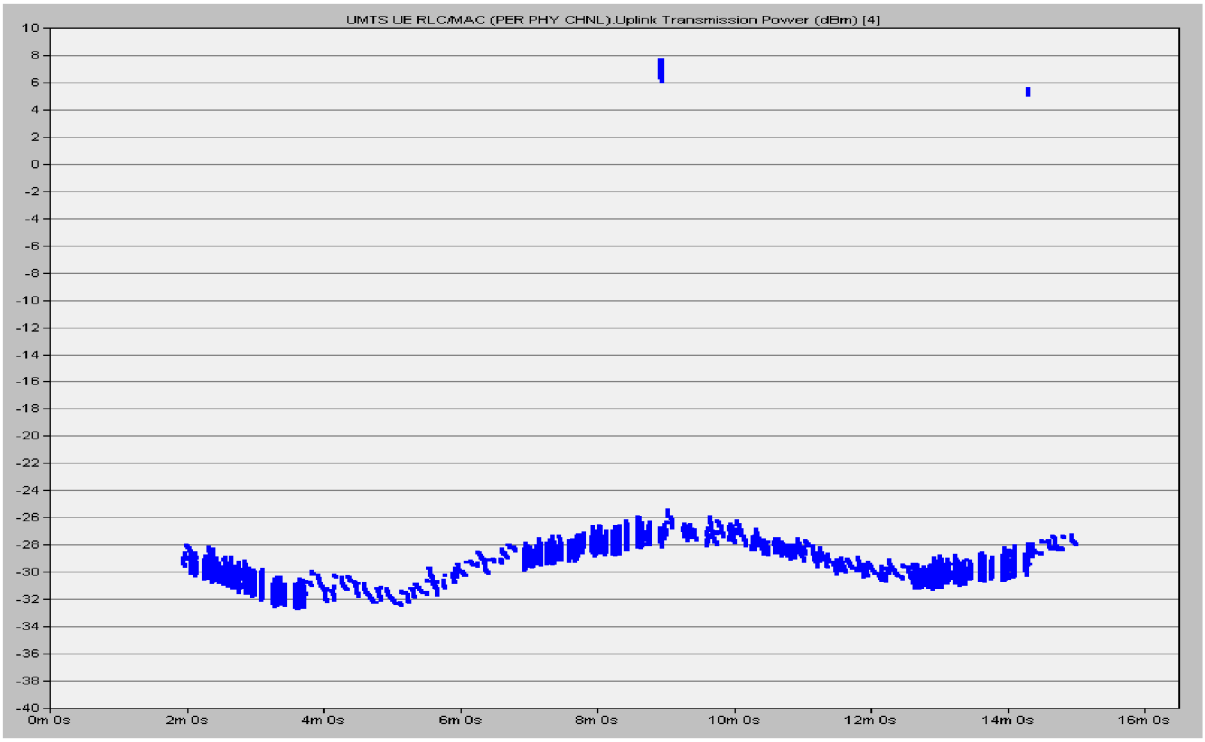
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ACK	Acknowledge
ARP	Autoradiopuhelin
AuC	Authentication Centre
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CPICH	Common Pilot Channel
CSD	Circuit Switched Data
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DMS	Data and Messaging Service
DRNC	Drift Radio Network Controller
DS-WCDMA	Direct-Spread WCDMA
EDGE	Enhanced Data For GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
FACH	Forward Access Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FD-WCDMA	Frequency Division WCDMA
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GRAN	Generic Radio Access Network
GSM	Global System for Mobile Communications
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunications for year 2000
ITU	International Telecommunications unie
MSC	Mobile Switching Centre
MMS	Multimedia Messaging Service
NMT	Nordic Mobile Telephony
PSTN	Public Switch Telephone Network
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIR	Signal to Interference Ratio
SMS	Short message service
SRNC	Serving Radio Network Controller
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex

TDMA	Time Division Multiple Access
TD-WCDMA	Time Division WCDMA
UE	Universal Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access

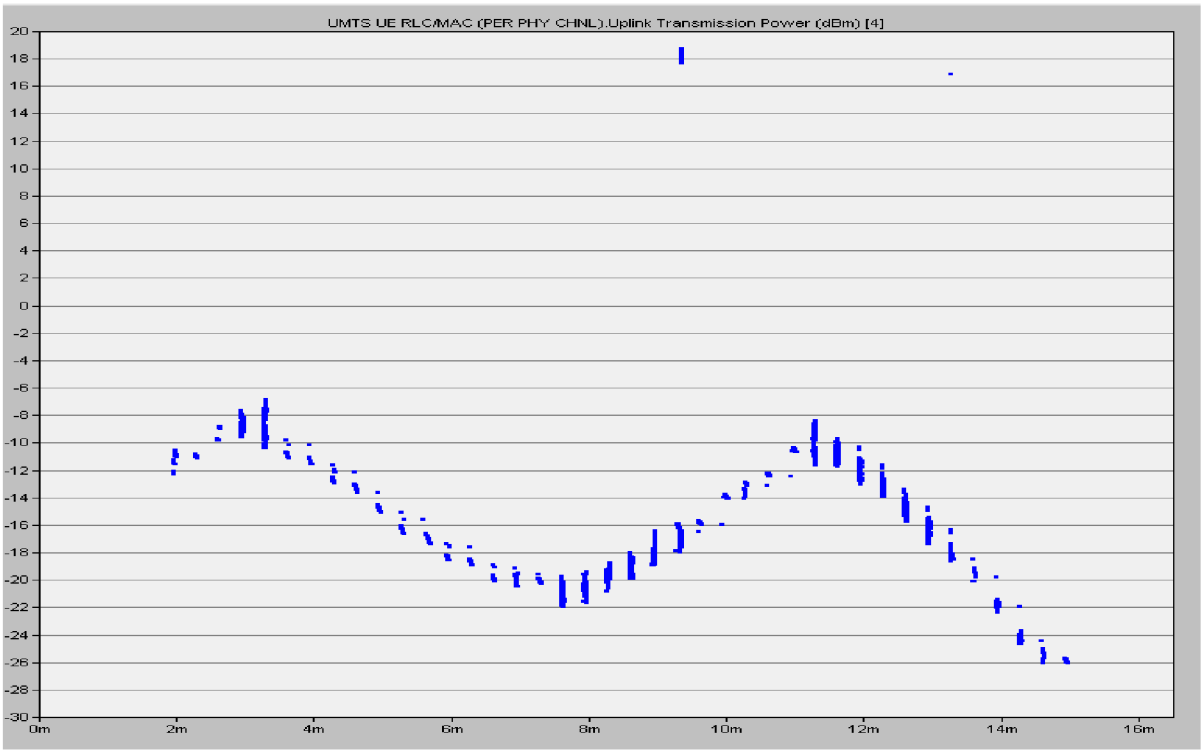
SEZNAM PŘÍLOH

A Grafy vysílacích výkonů u handoveru 68
B Popis obsahu přiloženého CD 70
C Laboratorní úloha – Funkce QoS v UMTS síti 71
C.1 Teoretický úvod 71
C.2 Scénář pro simulaci provozu sítě bez podpory QoS s dvěmi apikacemi 76
C.3 Scénář pro simulaci provozu sítě bez podpory QoS s třemi apikacemi 78
C.4 Scénář pro simulaci provozu sítě s podpory QoS s třemi apikacemi 78

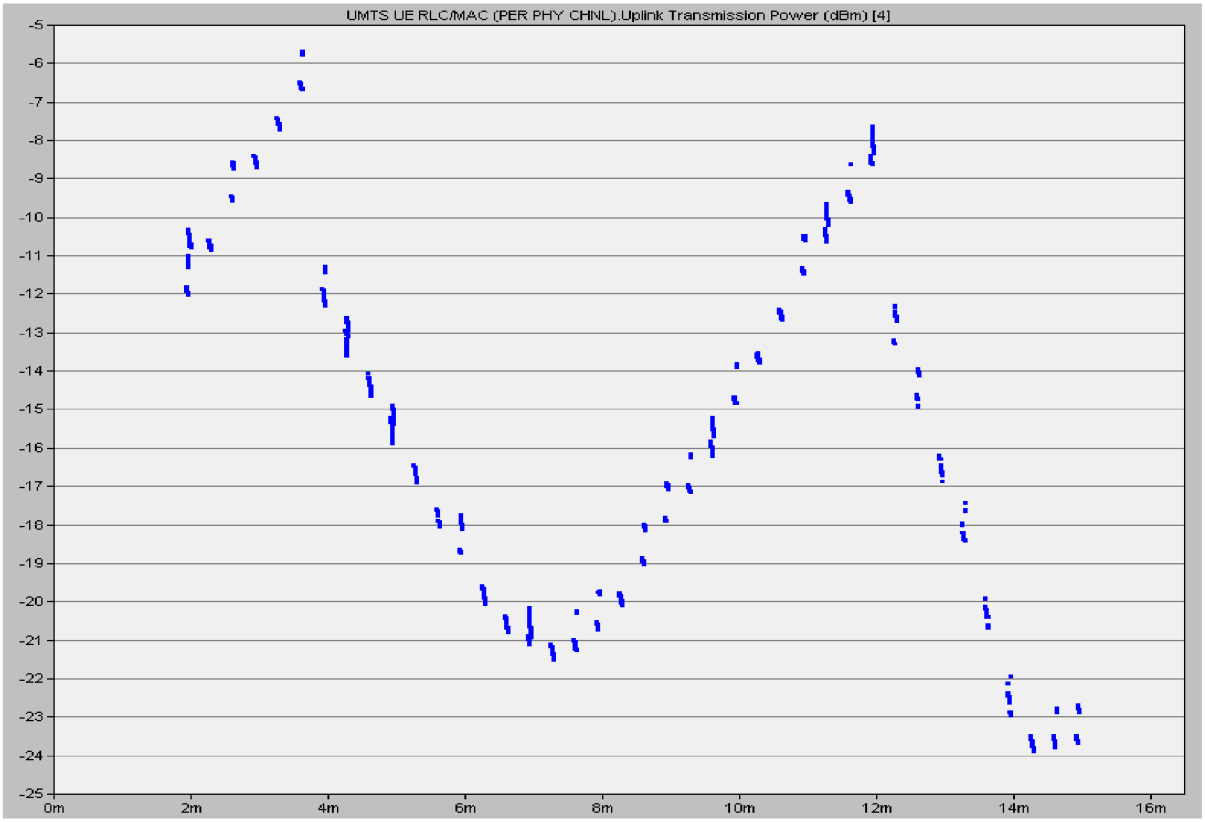
A GRAFY VYSÍLACÍCH VÝKONŮ U HANDOVERU



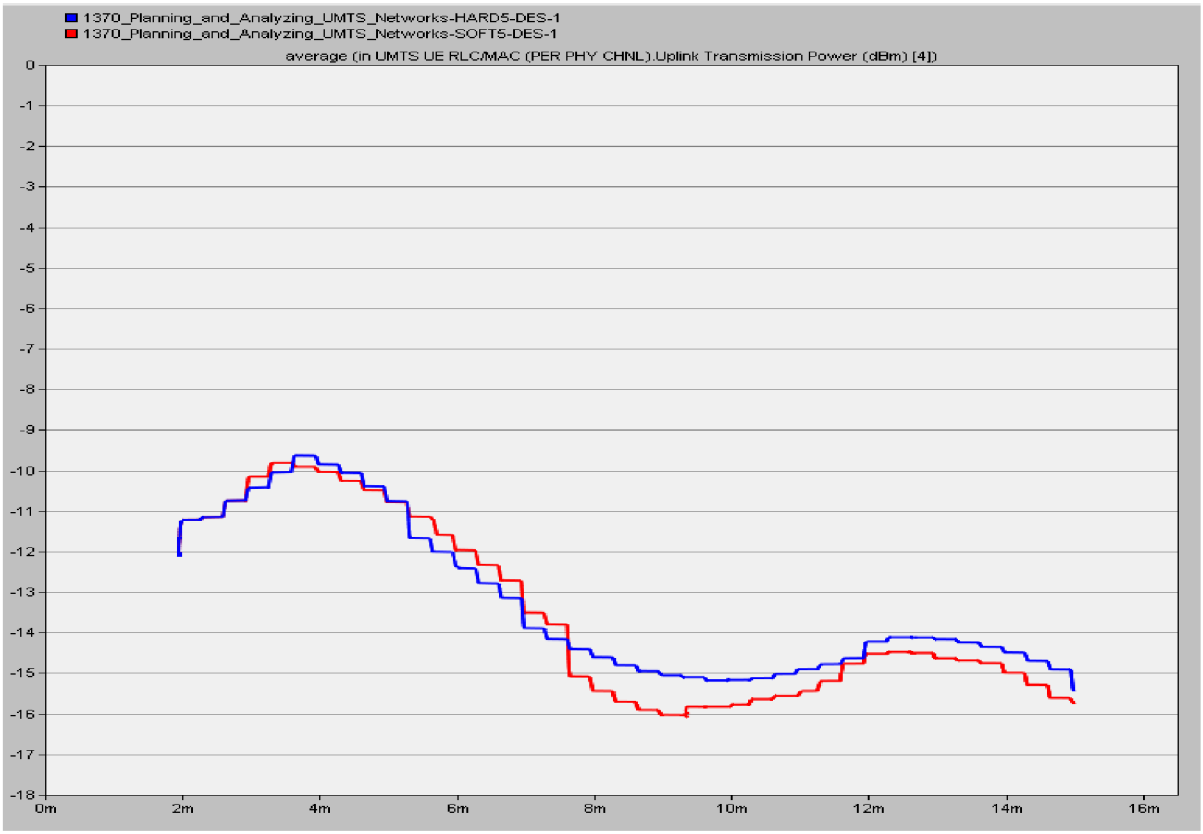
Obr. A.1 Vysílaný výkon FACH od UE při softer handoveru



Obr. A.2 Vysílaný výkon FACH od UE při soft handoveru



Obr. A.3 Vysílaný výkon FACH od UE při hard handoveru



Obr. A.4 Průměrný vysílací výkon FACH pro soft a hard handover

B POPIS OBSAHU PŘILOŽENÉHO CD

Na přiloženém CD je uložena elektronická verze bakalářské práce ve formátu PDF a program v Opnet Modeleru v adresáři UMTS_Project. Po otevření tohoto adresáře se zde nachází mimojiné přímo spustitelný soubor s názvem 1370_Planning_and_Analyzing_ UMTS_Networks.prj. Kliknutím na tento soubor se otevře projekt s jedním z pěti scénářů. Mezi scénáři lze jednoduše přepínat v záložce Scenarios / Switch to Scenario. Nabízené scénáře jsou: Soft HO, Hard HO, Softer HO, HTTP_FTP_VoIP_QOS a HTTP_FTP_VoIP_best efford. Toto jsou scénáře s konečnými výsledky projektu. Kvůli přehlednosti a jednoduchosti nejsou připojeny předchozí dílčí výsledky. Tyto jsou rozebrány podrobně v hlavním textu.

C LABORATORNÍ ÚLOHA – FUNKCE QOS V UMTS SÍTI

Cíl úlohy

Cílem této úlohy je seznámení se s paketovým provozem UMTS sítě a s možným využitím QoS (Quality of Service). Výsledkem simulace budou grafy provozu sítě bez použití QoS a s použitím QoS.

Zadání

- V programu Opnet Modeler použijte předem vytvořenou UMTS síť a simulujte provoz s čtyřmi mobilními terminály a čtyřmi aplikacemi.
- Na vytořený předchozí scénář aplikujte QoS.

C.1 TEORETICKÝ ÚVOD

UMTS je standard 3G mobilních sítí. Je to plnohodnotný nástupce sítě GSM s velkou změnou. Technologie GSM byla založena na přepínání okruhů. Podpora paketového způsobu komunikace byla přidána v podobě GPRS až o několik let později. UMTS řeší svou síť tak, že přepínání okruhů a přepínání paketů je na stejné úrovni. UMTS je standardizován organizací 3GPP a je plnohodnotným světovým standardem, který splňuje požadavky ITU IMT-2000 pro mobilní buňkové systémy 3. generace. Díky síti 2,5-té generace byl přechod značně zjednodušen, stačilo přidat další bloky do již existující struktury sítě GSM. Velkou změnou bylo vybudování nové přístupové sítě založené na násobném přístupu pomocí metody CDMA (Code Division Multiple Access). Systémy GSM a UMTS by měly být navzájem kompatibilní. Pokrytí službou UMTS bude postupně navazovat na stávající GSM, protože zatím je stále prioritou využívat hlasové služby na principu komutace okruhů. Do budoucna je ovšem snaha, aby veškerá komunikace probíhala po IP sítích.

UMTS se skládá ze dvou částí :

- přístupová síť UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access network)
- páteřní síť CN (Core Network)

UTRAN

UTRAN tvoří rádiovou pozemní přístupovou síť technologie UMTS. Je tvořen subsystémem základových stanic RNS (Radio Network Subsystem). Každý subsystém obsahuje jeden RNC (Radio Network Controller), který je připojen přes rozhraní Iu přímo do páteřní sítě CN.

RNC (Radio Network Controller)

Každý RNC kontroluje a obsluhuje jeden nebo více stanic Node B. RNC je obdobou BSC v síti GSM a řídí procesy probíhající v rádiovém prostředí. RNC sleduje mobilitu jednotlivých účastníků a následně vyhodnocuje případné přepojování mezi Node B (handover), dále řídí přidělování jednotlivých kanálů, přidělování kódů, řízení výkonů, makrodiverzitu a šifrování.

Node B

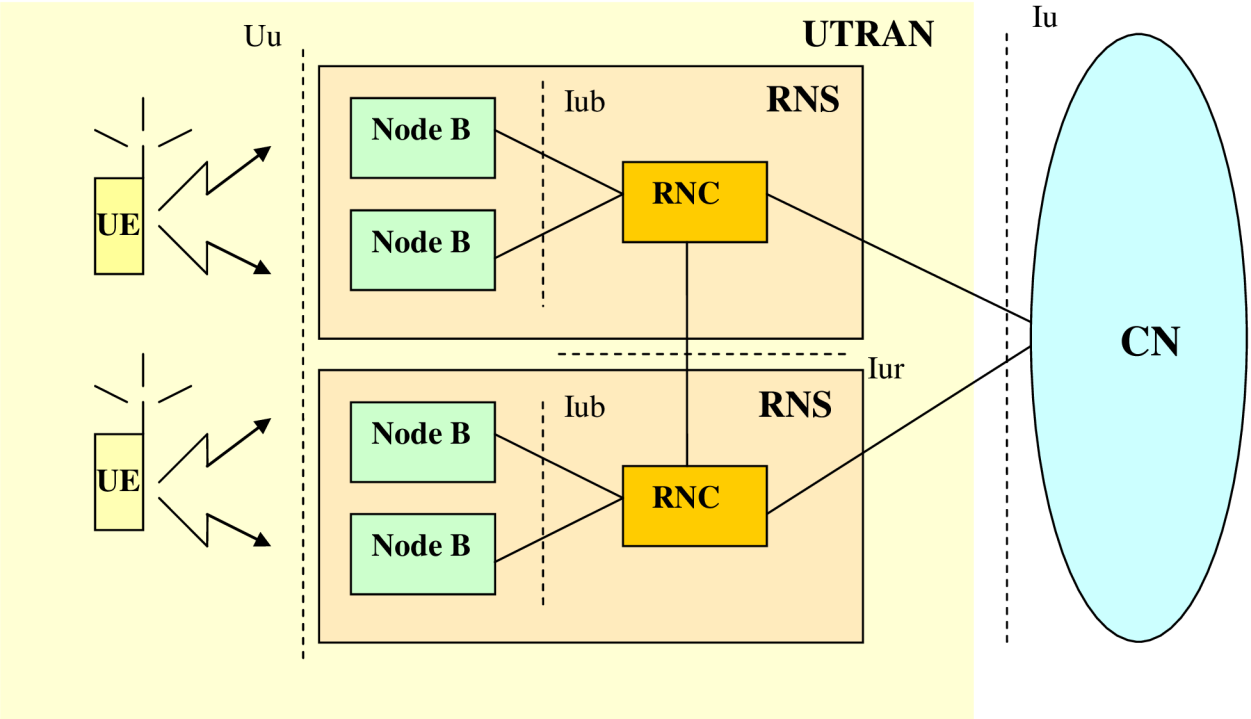
Název Node B je odvozen ze slova Node jako uzel IP sítě a B znamená base. Tato základnová stanice obsahuje vysílače a přijímače rádiového signálu. Jeden vysílač přitom

může mít jeden či více anténních systémů, čímž se určuje sektorizace pokryté oblasti. Nejčastěji se využívá 3 sektorová základnová stanice. Tím si Node B rozdělí své okolí do 3 sektorů (buněk) a může tedy obsloužit více zákazníků. Node B se dá brát jako prostředník, který na jedné straně má pevnou síť a na straně druhé má síť rádiovou. Je tedy nutné, aby přizpůsobil data přijatá z rádiového prostředí a předal je dál na metalické vedení. Node B používá přenosový režim WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access).

Základní funkce jednotky Node B jsou:

- modulace/demodulace
- vysílání/příjem
- diverzitní příjem
- kódováni CDMA
- řízení výkonu
- ochrana proti chybám

Node B je spojen se svým řídicím uzlem RNC rozhraním Iub. Na druhé straně je spojen s UE (User Equipment) rozhraním Uu. Struktura sítě je zachycena na Obr. C.1.



Obr. C.1 Struktura sítě

CN (Core Network)

Jádro obsahuje sadu služeb, které může účastník využívat prostřednictvím dané přístupové sítě, a také tvoří rozhraní k dalším sítím a tedy i službám, které je pak možno využívat, např.: pevná telefonní síť, internet atd. V dnešní době se využívá společné jádro sítě jak pro GSM tak pro UMTS, což značně usnadnilo implementaci UMTS do stávající sítě GSM. Jelikož účastníci mobilní sítě se mohou pohybovat neomezeně po celém světě, musí být systém jádra sítě podstatně složitější než u pevných telefonních sítí. Proto musí být v každé mobilní síti účastník nejdříve lokalizován a identifikován. Až po tom mu mohou být poskytnuty odpovídající služby sítě. K tomuto rozpoznání používá CN dva hlavní databázové

registry, a to sice HLR (Home Location Register – domovský lokační registr) a VLR (Visitor Location Register – návštěvnický lokační registr).

HLR (Home Location Register)

Jak již název napovídá, jedná se o registr, který v sobě má uložené veškeré informace o daném telefonním čísle. Při volbě čísla nejdříve ústředna, ke které je terminál momentálně připojen, překontroluje potřebné údaje k vykonání hovoru (např.: dostatečný kredit) a potom vyhledá HLR volaného účastníka. Toto HLR také překontroluje služby (např.: jestli nejsou blokovány příchozí hovory), a pokud ne, tak se podívá do VLR, kde se účastník zrovna nachází. Nyní musí být zjištěna tzv. Local Area (místo, kde se vyskytuje daný účastník). Dále se pak v této oblasti táže jednotlivých Node B nebo BTS, jestli k nim není nahlášen volaný účastník.

VLR (Visitor Location Register)

Jedná se o návštěvnický registr, do kterého se vždy dočasně zapisuje poloha (Local Area) daného terminálu. Obsahuje kopie většiny informací uložených v HLR.

AuC (Authentication Centre)

Autentizační centrum má za úkol ověřit totožnost každého účastníka ještě před zahájením hovoru. Tento registr bývá obvykle součástí HLR.

EIR (Equipment Identity Register)

Registr mobilních stanic uchovávající IMEI (International Mobile Equipment Identity) neoprávněně užívaných nebo odcizených stanic. Pouze jeden EIR může být v celé síti.

IMEI je číslo, které přesně udává hardware jednotlivých mobilních terminálů. Každý mobilní terminál má jedinečné IMEI. Toto číslo nemusí být žádáno při identifikaci účastníka. Používá se hlavně při prohledávání v EIR registru, který se dělí na tři části:

- **Bílý seznam** – tito uživatelé mají platné IMEI, jsou bez problému puštěni do sítě
- **Šedý seznam** – tito uživatelé jsou monitorováni, při každém spojení se o nich uloží informace
- **Černý seznam** – tito uživatelé nemají do sítě přístup, obsahuje IMEI čísla, které jsou nahlášena jako odcizené nebo nefunkční

SGSN (Serving GPRS Support Node)

Tento blok umožňuje směrování paketů. Dále provádí ověřování a šifrování dat směrem od a k všem účastníkům využívajících služby GPRS v dané oblasti patřící SGSN. Uživatel může být obsloužen jakoukoliv SGSN, záleží jen na tom, ve které části sítě se nachází.

GGSN (Getaway GPRS Support Node)

Jak z názvu plyne, je to brána, která slouží jako rozhraní mezi CN a paketovou sítí (internetem). Dynamicky přiděluje terminálům používající paketový přenos IP adresy. Z pohledu IP sítě je vidět GGSN jako router, tzn.: jako vlastník všech IP adres, jež jsou používány terminály.

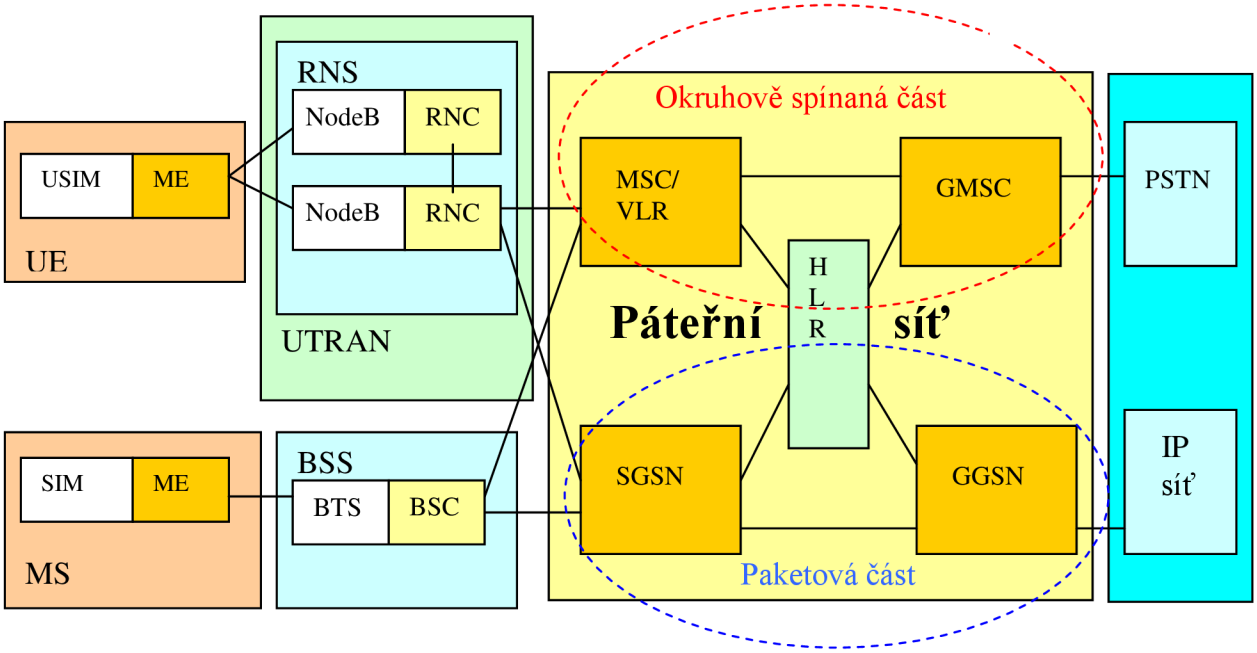
MSC (Mobile services Switching Centre)

Tato ústředna představuje rozhraní mezi rádiovou a pevnou částí sítě. Je nezbytná pro všechny služby spojené se spínáním okruhů. K jedné MSC je připojeno více subsystémů RNS. Na pokrytí většího území je zapotřebí většího počtu MSC, které mezi sebou komunikují. MSC má za úkol vykonávat veškeré služby spojené s okruhovým spínáním

(signalizace, spojování) v dané oblasti. Dále musí na rozdíl od ústředen v pevné síti podporovat procedury pro handover a procedury pro lokalizaci stanic v síti.

GMSC (Gateway Mobile Switching Centre)

Představuje rozhraní mezi mobilní sítí a vnějšími telekomunikačními sítěmi. Provádí konverzi signalizace komunikačních dat. Pro směrování hovorů v rámci mobilní sítě využívá HLR. Struktura celé UMTS sítě společně s GSM sítí je na Obr. C.2.



Obr. C.2 Struktura celé UMTS sítě společně s GSM/GPRS sítí

QoS (Quality of service)

V dnešní době je paketový přenos dat využíván k mnoha účelům jako jsou:

- Prohlížení www stránek
- Stahování dat
- VoIP telefonie
- Streaming videa
- Video konference aj.

Tyto služby kladou různé nároky na prostředky sítě. Některé služby jsou velmi citlivé na časové zpoždění nebo na kolísání zpoždění (jitter). Např.: když bude v síti uživatel, který bude kontinuálně stahovat velké soubory třeba z ftp serveru, tak služby citlivé na časové zpoždění s menším datovým tokem se takřka nedostanou k svému cíly. Je to pro to ,že existuje pouze jedna společná fronta v uzlových prvcích. Tato fronta je zanesena službou, která má největší datový tok a služby jako je např.: VoIP bude mít tak velké zpoždění, že komunikace nebude moci probíhat. Tento jev je řešen pomoci QoS. Jde o to rozdělit služby s podobnou náročností na rychlé odbavení v uzlech do stejných tříd. Následně potom tyto třídy hierarchicky seřadit podle priority. To bude mít za následek, že sužby s největší citlivostí na časové zpoždění (služby pracující v reálném čase) budou mít největší prioritu a postupně jsou řazeny třídy s nižší prioritou. Výsledná komunikace bude probíhat tak, že služby v nejnižší třídě budou probíhat jen tehdy pokud si nebude vyšší třída žádat o síťové prostředky. Samozřejmě je zařazen mechanismus pro to, aby naopak služby s vyšší prioritou nezahltily linku natolik, že služby s nejnižší třídy nebudou moci vůbec pracovat. V UMTS síti máme čtyři třídy služeb a to sice:

- Konverzační třídu
- Streamovací třídu
- Interaktivní třída
- Třída služeb na pozadí

Konverzační třída

Tato třída se uplatňuje pro služby v reálném čase s největší náchylností na časové zpoždění a na kolísání zpoždění. Typickými představiteli je Videokonference a VoIP. Zpoždění těchto služeb je odvozeno od lidského vnímání hlasu. Díky tomu bylo maximální end to end zpoždění stanoveno na 200ms. Jak bylo řečeno tato třída má největší prioritu a z toho plyne že je nejčastěji odbavována v síťových uzlech.

Streamovací třída

Tato třída je také určena pro služby v reálném čase a již méně náchylné na časové zpoždění nebo jitter. Na rozdíl od konverzační třídy jsou zde data přenášena pouze jedním směrem od serveru k uživateli. Typickými představiteli je streamované video nebo hudba. Jelikož je video přenášeno obvykle UDP protokolem, není možná žádná kontrola doručení. Pro to musí být kvalita doručení garantovaná streamovací třídou. Zpoždění a jitter je vyrovnáváno až na straně příjemce ve vyrovnávacích bufferech., přičemž malé ztráty paketů jsou díky vhodnému kódování a lidskému vnímaní zanedbatelné.

Interaktivní třída

Tato třída jak již názvu vypovídá je určena k interakci mezi serverem a uživatelem. Typicky se používá pro surfování na internetu. Tato služba je typická pro TCP protokol. Funguje na principu žádosti a odpovědi. Rychlost této komunikace je závislá na mnoha faktorech ale v našem případě na rychlosti linky a také na požadavcích vyšších tříd. Přenos paketů musí byt bezchybný, což zajišťuje protokol TCP.

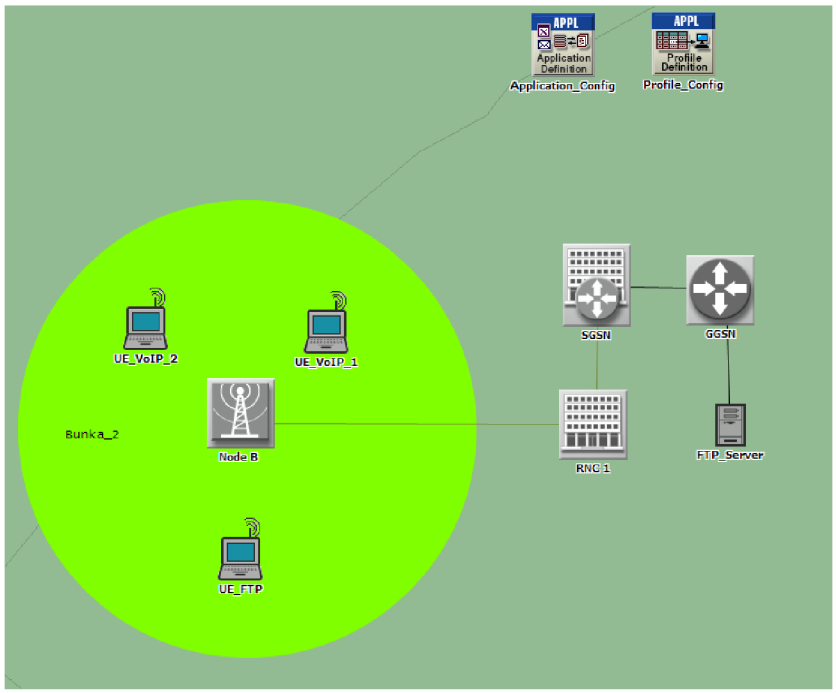
Třída služeb na pozadí

Tato třída nemá prakticky žádné požadavky na zpoždění. Její provoz je závislí na provozu ostatních tříd. V případě velkého provozu vyšších tříd je tato třída a služby v ní zpomaleny nebo úplně přerušeny. Příkladem těchto služeb je ftp, email aj. Důležitým požadavkem této třídy je chybovost, která musí být co nejnižší. Opět je zde použit protokol TCP, nebo jiné protichybové mechanizmy.

C.2 SCÉNÁŘ PRO SIMULACI PROVOZU SÍTĚ BEZ PODPORY QOS S DVĚMI APIKACEMI

Nejprve si otevřete scénář pro simulaci provozu sítě bez podpory QoS. Spusťte tedy Opnet Modeler a pokračujte dle níže popsaného návodu.

- Po startu Opnetu zvolte *otevřít / projekt* a vyberte projekt s názvem **1370_Planning_and_Analyzing_UMTS_Networks.** Otevře se vám již vytvořený projekt s nastavením jednotlivých komponent. Použitý scénář s názvem **VOIP a FTP_best_efford** je zobrazen na Obr. C.3. Pokud tomu tak není, zvolte z nabídky v horní liště *Scenerios / Switch To Scenerio* a zde zvolte scénář s daným názvem.



Obr. C.3 Scénář: VOIP a FTP_best_efford

- Nyní klikněte pravým tlačítkem myši na UE_FTP, zvolte *Edit Attributes / UMTS / UMTS QoS Profile Configuration / Background / Bit Rate Config* a zde zvolte:

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru uplink. Tuto rychlost nastavte na 250 kb/s.
- **Maximum Bit Rate Downlink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru downlink. Tuto rychlost nastavte také na 250 kb/s.

U UE_VOIP_1 i 2 ponechejte vše stejné, zde je **Bit Rate** nastaven na 64 kb/s. Nyní spusťte simulaci ikonou připomínajícího běžce v horní liště. Zde nastavte **Duration** na 90 minut, ostatní parametry ponechejte tak, jak jsou nastaveny, a zvolte **RUN**. Po ukončení simulace otevřete grafy výsledných průběhů. Pravým tlačítkem klikněte na plochu, zvolte **View Results** a rozklikněte **Object Statistics.** Zde si otevřete grafy u **FTP_Serveru** *TCP / Received (bytes/sec)*, dále u **UE_FTP** *TCP / Received (bytes/sec).* Na těchto grafech můžete vidět průběch TCP spojení, tudíž průběh downloadu a uploadu při FTP komunikaci. Grafy ponechte zobrazené a otevřte u obou **UE_VOIP** *Voice Application / Traffic Received (bytes/sec)* a *Traffic Send (bytes/sec).* Dobře si dané průběhy prostudujte a zapamatujte.

- Nyní opět klikněte pravým tlačítkem myši na UE_FTP, zvolte *Edit Attributes / UMTS / UMTS QoS Profile Configuration / Background / Bit Rate Config* a zde zvolte*:*
  - **Maximum Bit Rate Uplink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru uplink. Tuto rychlost nastavte na 64 kb/s.
  - **Maximum Bit Rate Downlink (kbps) -** jedná se o maximální přenosovou rychlost ve směru downlink. Tuto rychlost nastavte také na 64 kb/s.

  Opět spusťte simulaci. Po ukončení simulace otevřete stejné grafy jako v předchozím bodě a porovnejte průběhy s předchozími. Všimněte si doby trvání TCP spojení a průběhů VoIP.

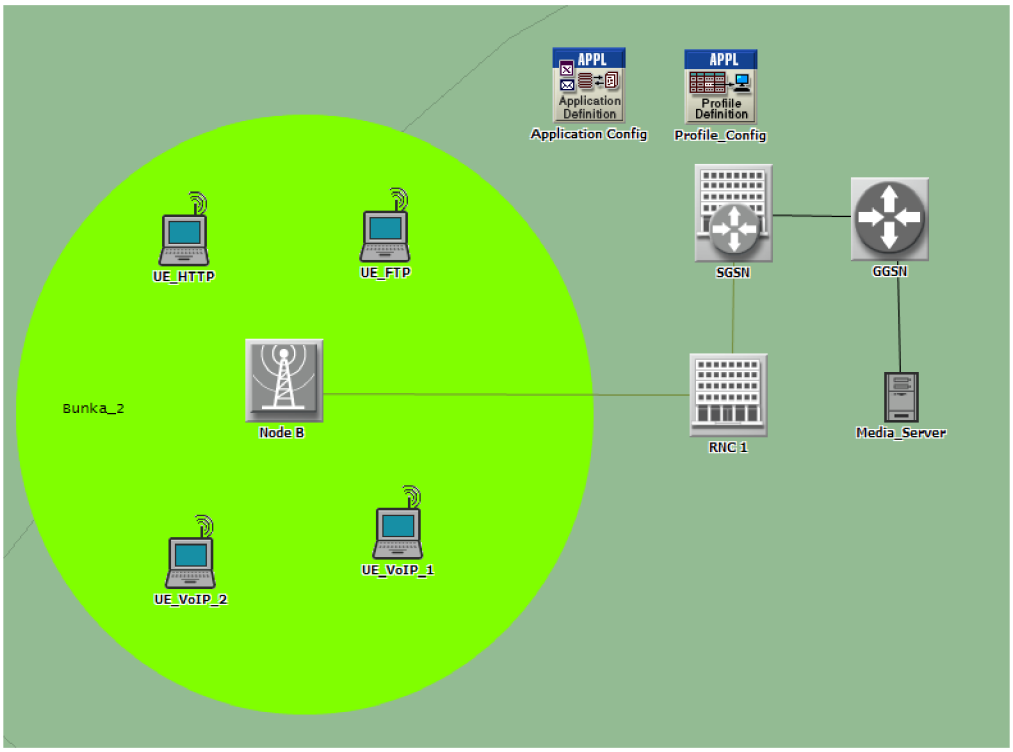
- Z výsledků můžeme usoudit, že v prvním případě FTP komunikace probíhá na úkor VoIP komunikace. Jakmile začne TCP spojení, přeruší se VoIP komunikace. Je to způsobeno velkou přenosovou rychlostí u FTP, která byla nastavena na 250 kb/s, na rozdíl od VoIP, které má nastaveno jen 64 kb/s. Jelikož jsou tedy tyto služby ve stejné frontě, dojde k zahlcení bufferu daty z FTP komunikace. Ve druhém případě, kdy jsme nastavili přenosovou rychlost u FTP na 64 kb/s, probíhá komunikace bez zahazování paketů a nedochází k zahlcení bufferu jednou službou.

Kontrolní otázky:

- Zdůvodněte, proč je ve druhém případě delší doba stahování souboru pomoci FTP?
- Jak je možné, že při zmenšení přenosové rychlosti u FTP probíhá VoIP komunikace bez problémů?
- Je tento způsob „zlepšení" provozu sítě zmenšením přenosové rychlosti vhodný a proč?

C.3 SCÉNÁŘ PRO SIMULACI PROVOZU SÍTĚ BEZ PODPORY QOS S TŘEMI APIKACEMI

- Nyní si zvolte jiný scénář *Scenerios / Switch To Scenerio* a vyberte **HTTP_FTP_VOIP_best_efford**, tento scénář je zobrazen na Obr. C.4. V tomto modelu je nastavena přenosová rychlost u UE_HTTP a u UE_FTP stejná, a to 250 kb/s. U UE_VOIP_1 i u UE_VOIP_2 je ponechaná rychlost přenosu dat na 64 kb/s.



Obr. C.4 Scénář: HTTP_FTP_VOIP

Opět spusťte simulaci jako v předchozím bodě a také nezapomeňte nastavit **Duration** na 90 minut. Po ukončení simulace klikněte pravým tlačítkem myši na plochu a zvolte **View Results** a rozklikněte **Object Statistics.** Z nabízených grafů opět zvolte u **FTP_Serveru** *TCP / Received (bytes/sec)*, dále u **UE_FTP** zvolte *TCP / Received (bytes/sec).* Potom u **UE_HTTP** *Client http / Traffic Recieved (bytes/sec)* a u **UE_VOIP** zobrazte opět *Voice Application / Traffic Received (bytes/sec)* a *Traffic Send (bytes/sec).* Podrobně si prohlédněte grafy všech průběhů a zamyslete se, proč komunikace probíhá právě takto.

C.4 SCÉNÁŘ PRO SIMULACI PROVOZU SÍTĚ S PODPORY QOS S TŘEMI APIKACEMI

- Zde se přepněte do scénáře *Scenerios / Switch To Scenerio* a zvolte ten s názvem **HTTP_FTP_VOIP_QOS.** Scénář vypadá identicky jako Obr. C.4. Rozdíl je zde ten, že je zde nastavena QoS. Aplikace FTP zůstala v nejnižší kvalitativní třídě. Aplikace HTTP byla přiřazena do třídy interaktivní a aplikace VoIP byla přiřazena do

konverzační třídy. Opět tedy spusťte simulaci. Po ukončení simulace si otevřete stejné grafy jako v předchozím bodě. U **FTP_Serveru** *TCP / Received (bytes/sec)*, dále u **UE_FTP** zvolte *TCP / Received (bytes/sec).* Potom u **UE_HTTP** *Client http / Traffic Recieved (bytes/sec*) a u **UE_VOIP** zobrazte opět *Voice Application / Traffic Received (bytes/sec)* a *Traffic Send (bytes/sec).* Nyní můžete oba provozy s QoS a bez QoS porovnat a to tak, že v obrazovce s grafy v levém horním rohu v editačním okně *results for* zvolíte **Current Project**. Zde si zaškrtněte scénář s názvem **HTTP_FTP_VOIP_best_efford** a nyní vidíte výsledky z obou scénářů. Pokud zbude čas, prohlédněte si i ostatní dostupné grafy jako jsou množství žádostí na FTP server nebo zpoždění při probíhajících komunikacích.

- V prvním případě ve scénáři bez QoS se třemi aplikacemi je vidět, že FTP komunikace probíhá bez problémů, ale ostatní služby jsou potlačeny a probíhají jen v místech, kdy není žádný FTP provoz. VoIP aplikace je opět přerušena z důvodu zahlcení bufferu vlivem velkého bitového toku z FTP aplikace. Nejhůře je na tom HTTP aplikace, ta komunikuje pouze tehdy, když se nic nepřenáší FTP protokolem a neprobíhá komunikace VoIP. Ve scénáři s použitím VoIP již vidíme, že každá aplikace je přiřazena jiné frontě a fronty s vyšší prioritou jsou obsluhovány častěji. Všechny komunikace již probíhají korektně. Někdy se ovšem stane, že dojde k dočasnému výpadku nebo úplnému zrušení FTP relace, což je způsobeno programem Opnet, jelikož neumožňuje nastavit minimální přenosovou rychlost, kterou by si aplikace udržela v případě velkého provozu sítí způsobeného třídami s vyšší prioritou.

Kontrolní otázky:

- Zdůvodněte, proč u HTTP provozu bez QoS komunikace téměř neprobíhá?
- Jaká je výhoda použití QoS oproti provozu bez QoS?
- Čím je způsobeno, že nedochází v provozu s QoS k výpadkům VoIP a HTTP komunikace?

Seznam Literatury

[8] HANUS, S., *Rádiové a mobilní komunikace,* [cit. 2008-10-10], Skripta VUT, Brno, 2005.

[9] MOLNÁR, J. *Úvod do 3G a UMT* [online]. 2005 [cit. 2008-10-12], Dostupný z WWW: <*http://www.umts.wz.cz/start.htm*>.

[10] NOVOTNÝ, V., *Sektorizace a handover v sítích UMTS*, [cit. 2008-10-10], Skripta VUT, Brno

[11] *Opnet Modeler,* [cit. 2008-11-10], Dostupný z WWW*:* <*http://www.opnet.com*>

[12] PERÉZ - ROMERO, J., SALLENT, O., AGUSTÍ, R.. *Radio Resource Management Strategies in UMTS*., 2005., [cit. 2008-10-19], ISBN-13 978-0-470-02277-1. Chichester (England): Willey, c2005. 345 s. ISBN 0-470-02277-9

[13] RICHTR, T. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. [2002] [cit. 2008-10-10]. Dostupný z WWW: <http://www.tomas.richtr.cz/mobil/>.

[14] 3gpp [online]. [cit. 2008-11-20], Dostupný z WWW:<*http://www.3gpp.org*>