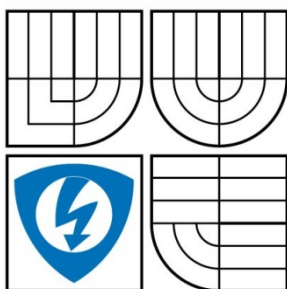


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MULTIMEDIÁLNÍ PROVOZ V MOBILNÍCH SÍTÍCH A ZAJIŠTĚNÍ KVALITY SLUŽEB

MULTIMEDIA DATA TRANSMISSION OVER MOBILE NETWORKS AND ASSURANCE OF QoS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN BORTEL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. DUŠAN HAVELKA

BRNO 2008

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Martin Bortel
Bytem: č. p. 495, 74401 Trojanovice
Narozen/a (datum a místo): 5.4.1985, Čeladná

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Multimediální provoz v mobilních sítích a zajištění QoS

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Dušan Havelka

Ústav: Ústav telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

* hodící se zaškrtněte

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3 Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 3. 6. 2008

.....
Nabyvatel

..... Martin Bortel
.....
Autor

ABSTRAKT

V bakalářské práci Multimediální provoz v mobilních sítích a zajištění kvality služeb je nahlédnuto na základní vlastnosti sítě UMTS. Úvod práce je věnován popisu typů dat a jejich vlastnostem. Po té se pozornost přesouvá k problému přenosu dat skrz síť a zajištění kvality služeb. Rozebrán je zde princip modelu OSI, funkce RLC protokolu a typy QoS tříd. Důraz je kladen na strukturu PDP kontextů a jejich použití v síti. Na konci teoretické části práce je popsána struktura sítě UMTS a funkce jednotlivých prvků sítě. Závěr práce je věnován simulacím v prostředí OPNET Modeler. V této části práce jsou popsány simulace modelu sítě UMTS ze dvou různých pohledů, na konci každé z nich jsou shrnuty získané informace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mobilní celulární síť, 3G, UMTS, Kvalita služeb, QoS, CDMA, WCDMA, RLC protokol, PDP kontext, RAN, UTRAN, UE, Uživatelské zařízení, CN, Jádro sítě, VoIP.

ABSTRACT

In Bachelor's Thesis - Multimedia Data Transmission over Mobile Networks and assurance of QoS basic characteristics of UMTS network are described. At the beginning of the thesis types of data and their properties are explained. Then the attention is paid to data transfers through the network and assurance of QoS. The principle of OSI model, function of RLC protocol and types of QoS classes are mentioned in this section. PDP Contexts and their application in the network are pointed out. At the end of the theoretical part the structure of network is described and the functionality of its parts is depicted. Closure of the thesis is focused on the simulations of UMTS network model in OPNET Modeler environment.

KEY WORDS

Mobile cellular network, 3G, UMTS, Quality of Service, QoS, CDMA, WCDMA, RLC protocol, PDP Context, RAN, UTRAN, UE, Users Equipment, CN, Core Network, VoIP.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Multimediální provoz v mobilních sítích a zajištění kvality služeb“ 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 bakalářské 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 3. 6. 2008

Martin Bortel
.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Dušanu Havelkovi za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování práce.

V Brně dne 3. 6. 2008

Martin Bortel
.....
(podpis autora)

SEZNAM ZKRATEK

ZKRATKA	SLOVNÍ VYJÁDŘENÍ
3G	3. Generace
8-PSK	High-order Phase-Shift Keying
ACK	Acknowledgement
AM	Acknowledged Data Transfer Service Mode
APN	Access Point Name
ARQ	Automatic Repeat reQuest
ASF	Advanced Streaming Format
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CoS	Class of Service
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
EDGE	Enhanced Data rates for Global Evolution
EIR	Equipment Information Register
FDD	Frequency Division Duplex
FTP	File Transfer Protocol
GGSN	GPRS Gateway Support Node
GMM	GPRS Mobility Management
GPRS	general packet radio system
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switching Data
CHAP	Challenge-Handshake Authentication Protocol
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IP	Internet Protocol
ISO/OSI	International Standards Organization / Open System Interconnection reference model
LAN	Local Area Network
MDA	Mobile
MPEG	Moving Picture Experts Group
MS	Mobile Subscriber
NACK	Negative Acknowledgement
NSAPI	Network Service Access Point Identifier
PAP	Public Access Profile
PC	Personal Computer
PCM	Pulse Code Modulation
PDP	Packet Data Protocol
PDU	Protocol Delivery Unit

ZKRATKA	SLOVNÍ VYJÁDŘENÍ
P-TMSI	Packet Temporal Mobile Subscriber Identity
QoS	Quality of Service
Q-PSK	Quadrature Phase-Shift Keying
RADIUS	Remote Authentication Dial-In User Service
RLC	Radio Link Control
RM	Real Media
RNC	Radio Network Controller
SGSN	Serving GPRS Support Node
SM	Session Management
SMS	Short Message System
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TR	Transparent Data Transfer Service Mode
UE	User Equipment
UEP	Unequal Error Protection
UM	Unacknowledged Data Transfer Service Mode
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Acces Network
WCDMA	Wide Code Division Multiple Access
www	world wide web

OBSAH

1	ÚVOD	12
2	ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI DAT CITLIVÝCH NA ZPOŽDĚNÍ PŘI PŘENOSU MOBILNÍ SÍTÍ	14
2.1	Úvod	14
2.2	Multimediální data (<i>audio & video</i>)	15
2.2.1	Audio kodeky	15
a)	G.711	15
b)	MPEG (Moving Picture Experts Group)	16
c)	MPEG-1 layer 3	16
2.2.2	Video kodeky	16
a)	MPEG-4	16
b)	ASF (Advanced Streaming Format)	16
c)	Real Video	16
2.3	Jiná data (<i>plane data – www, FTP</i>)	16
2.3.1	WWW (World Wide Web)	17
2.3.2	FTP (File Transfer Protocol)	18
3	PŘENOS DAT A ZAJISTĚNÍ KVALITY SLUŽEB (QOS)	19
3.1	Úvod	19
3.2	Referenční komunikační model ISO/OSI	19
3.2.1	Fyzická vrstva	19
3.2.2	Linková vrstva	20
3.2.3	Síťová vrstva	20
3.2.4	Transportní vrstva	20
3.2.5	Relační vrstva	20
3.2.6	Prezentační vrstva	20
3.2.7	Aplikační vrstva	20
3.3	RLC (Radio Link Control) protokol	20
3.3.1	Transparent Data Transfer Service Mode (TR)	21
3.3.2	Unacknowledged Data Transfer Service Mode (UM)	21
3.3.3	Acknowledged Data Transfer Service Mode (AM)	21
3.3.4	Automatic Repeat reQuest (ARQ) – Selective repeat	21
3.4	Zajištění kvality služeb	22
3.4.1	Třídy QoS – CoS (<i>Class of Service</i>)	22
3.4.2	Nosná služba (<i>Bearer Service</i>)	24
3.5	PDP kontext (Packet-Data-Protocol)	25
3.5.1	Vícenásobné PDP kontexty	26
a)	Vícenásobné primární PDP kontexty	26
b)	Sekundární PDP kontexty	27
c)	TFT Traffic Flow Template	28
3.6	Správa relací	29
	Procedury SM	29
3.6.1	Vytvoření PDP kontextu	29
a)	Navázání spojení	30
b)	Aktivace Primárního PDP kontextu	30
c)	Aktivace Sekundárního PDP kontextu	31
d)	Modifikace PDP kontextu	32
e)	Deaktivace PDP kontextu	32
3.7	Handover	32
3.7.1	Hard handover	32
3.7.2	Soft handover	33
3.7.3	Softer handover	33

4	NÁVRH MODELU SÍTĚ UMTS S PŘIPOJENÍM K PEVNÉ SÍTI	35
4.1	Úvod	35
4.2	UE (User Equipment)	35
	a) ME (Mobile Equipment)	35
	b) USIM (UMTS Subscriber Identity Module)	35
4.3	UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)	35
4.3.1	Node-B (WCDMA base station)	35
4.3.2	RNC (Radio Network Controller)	36
4.4	CN (Core Network)	36
4.4.1	CS (Circuit Switched)	36
	a) 3G MSC / VLR (Mobile Switching Centre / Visitor Location Register)	36
	b) GMSC (Gateway Mobile Switching Centre)	37
4.4.2	PC (Packet Switched)	37
	a) SGSN (Serving GPRS Support Node)	37
	b) GGSN (Gateway GPRS Support Node)	37
5	SIMULACE MODELU SÍTĚ UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER	38
5.1	Úvod	38
5.1.1	Pozorování zpoždění aktivace PDP kontextu při současném požadavku na více služeb	39
	a) Návrh modelu sítě	39
	b) Nastavení modelu sítě	39
	c) Podrobné nastavení jednotlivých prvků modelu	40
	d) Průběh simulace	47
	e) Shrnutí výsledků	48
5.1.2	Pozorování zpoždění přístupu ke službám při přechodu mezi buňkami sítě (soft handover a hard handover)	51
	a) Návrh modelu sítě	51
	b) Nastavení modelu sítě	52
	c) Podrobné nastavení jednotlivých prvků modelu sítě	52
	d) Průběh simulace	53
	e) Shrnutí výsledků	56
6	ZÁVĚR	62
7	LITERATURA	64
8	SEZNAMY	65
8.1	Seznam obrázků	65
8.2	Seznam tabulek	66

1 ÚVOD

Cílem této práce je seznámit čtenáře se základy problematiky týkající se přenosu multimediálních dat přes mobilní sítě typu 3G a zahrnout náhled na funkčnost modelu sítě v prostředí Opnet Modeler.

Práce je rozdělena do čtyř hlavních částí – Základní vlastnosti dat citlivých na zpoždění při přenosu mobilní sítě, Přenos dat a zajištění kvality služeb, Návrh modelu sítě UMTS s připojením k pevné síti a Simulace modelu sítě UMTS v prostředí Opnet Modeler. V rámci první části jsou rozebrány základní vlastnosti multimediálních dat v závislosti na jejich typu (audio, video, data). V části druhé je čtenář proveden náhledem na hlavní vlastnosti sítě. Tato část se zabývá přenosem dat a problémem zajištění kvality služeb pro aplikace závislé na zpoždění, jitteru a míře chybovosti přenosu dat skrz přenosové médium. Třetí část popisuje strukturu sítě UMTS a teoretický návrh modelu sítě UMTS s připojením k pevné síti. Čtvrtá část se zaměřuje na praktické znázornění teoretických poznatků pomocí nástroje Opnet Modeler a pomocí simulací modelů sítě UMTS v tomto prostředí.

Ještě před pár lety bylo hlavním a takřka jediným úkolem mobilní sítě jako takové zajistit hlasové spojení mezi dvěma účastníky. Postupem času se objevily technologie umožňující přenos krátkých textových zpráv (SMS – *Short Message System*). Technologie, která do doposud okruhově spojované sítě přinesla novinku spojování rámců (paketů) a umožnila tak lepší využití zdrojů sítě, bylo GPRS (*General Packet Radio System*). GPRS má ale velkou nevýhodu, jsou jí malé přenosové rychlosti. Tyto se pohybují od 9kb/s po teoretických 176kb/s. Velikost přenosové rychlosti závisí na hustotě zatížení sítě (počtu uživatelů právě využívajících síť) a kvalitě signálu. Spojování okruhů pro přenos dat oprášil HSCSD (*High Speed Circuit Switching Data*), technologie rychlých datových přenosů. Při stahování lze dosáhnout až 45kb/s. Vylepšení GPRS přináší technologie EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) díky novému typu modulace (GPRS používá QPSK, EDGE – 8-PSK) a novým kódovacím schémataům (oproti 4 schémataům u GPRS používá technologie EDGE 9). Kombinace nového typu modulace a nových kódovacích schémat umožňuje zvýšení přenosové rychlosti teoreticky až na 480kb/s (reálné rychlosti se pohybují okolo 160kb/s). Z toho vyplývá, že přenosové rychlosti technologie EDGE jsou cca 3-krát vyšší než přenosové rychlosti systému GPRS. 1. prosince 2005 spustil Eurotel (dnes Telefónica O2) první 3G síť založenou na technologii UMTS-FDD (*Universal Mobile Telecommunications*

System – Frequency Division Duplex). Tato síť dosahuje přenosových rychlostí až do 384kb/s. T-Mobile přišel se sítí založenou na UMTS-TDD (*UMTS – Time Division Duplex*), pod obchodním názvem „4G“. Tato síť může teoreticky dosáhnout rychlosti až 2,2Mb/s, běžně dosažitelné rychlosti se pohybují mezi 600-800kb/s.

2 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI DAT CITLIVÝCH NA ZPOŽDĚNÍ PŘI PŘENOSU MOBILNÍ SÍTÍ.

2.1 Úvod

Některé frekvenční komponenty signálu mají větší prioritu než ostatní z pohledu lidského vnímání. Proto jednou z priorit digitálního kódování dat v síti je zajistit jejich rozčlenění dle důležitosti. Tímto rozčleněním je usnadněno aplikační rozhodování, zda zajistit variable bit-rate streaming nebo progresivní dekódování signálu. Členění dat dle priorit může být s velkým úspěchem využito při zajištění proměnné ochrany proti chybám - Unequal Error Protection (UEP) pro toky dat. Data vytvořená kódérem jsou uspořádána dle poměrů důležitosti, tak aby dekodér potřeboval jen malé množství informace k dekódování celého objemu dat. Současné metody kódování toků multimediálních dat typicky produkují data s konstantní bitovou rychlostí ze vzorků s proměnlivou délkou. Konstantní bitová rychlost se používá, protože bylo zjištěno, že při použití různě dlouhých vzorků pro přenos jsou některé sítě upřednostněny na úkor reprezentace dat [7]. Lepšího výsledku lze tedy dosáhnout při respektování rychlosti výstupu dat z kodéru. V každém případě zjistíme, že šířka pásma produkovaná kódérem není přesně dána. Vždy bude kolísat mezi nějakou maximální a minimální hodnotou. Kanál, který nebude schopen zajistit potřebnou minimální šířku pásma, způsobí chybu dekodéru [7]. Z tohoto důvodu je podstatné udržet parametry kanálu tak předvídatelné, jak je jen možno.

2.2 Multimediální data (*audio & video*)

Na rozdíl od základních internetových aplikací (např. www nebo e-mail, atd.), kdy bývá uživatel vůči zpoždění poměrně tolerantní, mají data multimediální na průběh přenosu vysoké nároky. Pokud se webová stránka nebo email budou stahovat o něco déle, z většiny případů to uživateli příliš nevádí. Ovšem v případě dat multimediálních se tolerance do značné míry vytrácí. Multimediální data jsou z principu striktně závislá na zpoždění a jeho změnách. Například v případě videokonferenční aplikace jsou omezení ve zpoždění úzce spjata s lidským vnímáním interaktivních komunikací. Tedy pokud bude zpoždění mezi jednotlivými pakety příliš velké, komunikace nebude moci pokračovat plynule, bude se „trhat“ a uživatel nebude s předplacenou službou spokojen. Pokud hodnoty zpoždění mezi příchody paketů budou příliš kolísat, může být situace završena i ukončením relace. Oproti tomu, v případě jednosměrného broadcastu (např. videostream), je tolerance zpoždění povětšinou závislá na ochotě uživatele vyměnit delší načítání obsahu za následné zlepšení kvality přijímaného videa (audia), to vše díky tzv. bufferování. Video (audio) se načítá dopředu a ukládá do mezipaměti, ze které je následně přečteno a zobrazeno uživateli. To umožňuje i případné přeposílání chybných paketů na místo jejich zahození a umožňuje uživateli obsah převíjet zpět, pozastavit, posunout dopředu, atp.

Ke zefektivnění přenosu zvukového a obrazového signálu přes síť se používají tzv. kodeky. Kodek je algoritmus speciálně vytvořený k zajištění nejlepšího možného výsledku při snaze zaznamenat zvukový nebo obrazový záznam ať už z hlediska potřebného místa na harddisku k uložení záznamu, z hlediska kvality záznamu (reprezentace původního signálu) nebo z hlediska bitového toku (streaming).

2.2.1 Audio kodeky

a) G.711

Základní kodek využívaný aplikacemi zajišťujícími konferenční hovory ve spojení s H.261 (videokodek) zajišťuje videokonference. Využívá PCM (*Pulse Code Modulation*) se vzorkovacím kmitočtem 8000 vzorků/s a kompresí z 12 bitů na 8. Přenosová rychlost výsledného signálu je potom 64kb/s. Typické zpoždění přidáné kodekem je 0,125 ms.

b) MPEG (Moving Picture Experts Group)

MPEG je nejznámější videokodek. Použitím jen jeho části, můžeme kódovat audio. Nejznámější je MPEG-1 layer 3 (MP3). Tento kodek používá vzorkovací kmitočty o hodnotách, 32 kHz, 44.1 kHz a 48 kHz.

c) MPEG-1 layer 3

Pravděpodobně nejrozšířenější formát audio souborů mp3 je kódován právě pomocí tohoto kodeku. Bitové rychlosti se pohybují v diskrétních hodnotách od 32 kb/s až k hodnotám 320/384/448 kb/s. Nehodí se ale příliš pro kódování mluveného slova, při poslechu je slyšitelné snížení kvality.

2.2.2 Video kodeky

a) MPEG-4

MPEG 4 je vývojový stupeň MPEGu. MPEG 1 byl prvním kodekem svého druhu, který umožnil i streamování videa po internetu. Využívá ztrátovou kompresi dat, pracuje s kompresními poměry mezi 1:1 až 200:1 a využívá třech typů snímku ke kódování videa. Chybí ovšem prokládaný obraz, neuspokojujícím je také podpora pouze konstantního bitového toku a nízká kvalita obrazu při malé šířce pásma. Tyto nedostatky vyřešil MPEG 2. MPEG 4 přináší filtry pomáhající maskovat nedokonalosti obrazu při vysokém komprimačním poměru.

b) ASF (Advanced Streaming Format)

Kodek vyvinutý firmou Microsoft, vychází z formátu AVI a přebírá kompresi z formátu MPEG 4. Novější verzí je formát WMV.

c) Real Video

Nejstarším a nejpropracovanějším formátem pro přenos videa přes internet je bezesporu RM (Real Media).

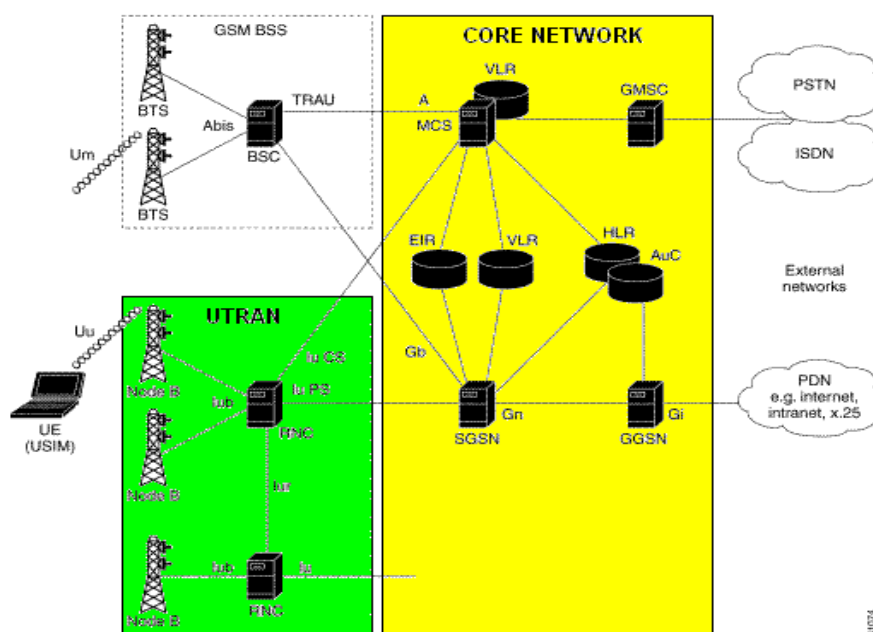
2.3 Jiná data (plane data – www, FTP)

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) byl navržen převážně kvůli snaze zajistit vysokorychlostní datové služby mobilním uživatelům. Tyto služby zahrnují kromě přenosu multimediálního typu dat také přenos klasických na čas ne tak závislých dat.

Klasická data nejsou závislá na zpoždění a jeho změnách, ale na hodnotě ztrátovosti dat a chybovosti při přenosu sítí.

2.3.1 WWW (World Wide Web)

Jednou ze služeb závislých na chybovosti a ztrátě dat je www. Data s obsahem webové stránky (stránek) musí projít na cestě k UE (*Users Equipment*) z pevné sítě přes 2 hlavní části sítě UMTS, CN (*Core Network*) a UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). V literatuře se používá jednak termín UE [3], ale také MS (*Mobile Station*) [7], [8]. UE i MS vyjadřují obecně koncový prvek mobilní sítě, může to být mobilní telefon, MDA, PC vybavené 3G kartou (modemem), apod.



Obr. 1: Schéma sítě UMTS s připojením k pevným sítím.

V pevných sítích bývá uživateli poskytnut tzv. best-effort, tedy žádné zajištění kvality služeb. Tento přístup lze uplatnit pouze u sítí schopných poskytnout velmi široké pásmo pro přenos. V rádiové síti narazíme na problém, že přenosové pásmo (*bandwidth*) je velmi omezeno. Z tohoto omezení vyplývá, že si rádiová síť bude muset oproti pevné síti (např. LAN) vystačit s daleko menším objemem dat přeneseným za jednotku času. Od pevné sítě se liší také podstatně většími mírami chybovosti a ztrát paketů. Jestliže má obsah webové stránky dojít celý, musí systém UMTS zajistit správné doručení tohoto obsahu. Proto používá RLC (*Radio Link Control*), který zajišťuje kvalitu služeb. RLC používá mechanismus ARQ (*selective repeat*). Podobně jako TCP (*Transmission Control Protocol*) v Internetu má RLC zajistit v rámci sítě bezpečné doručení paketu od odesílatele k příjemci (více str. 20).

Abychom si udělali představu jak data s www obsahem vypadají. Řekněme si jak zjednodušeně funguje komunikace mezi UE a serverem, na němž je webový obsah uložen. Jakmile UE chce načíst obsah dané stránky, zašle na server „request“. Pokud server daný obsah má ve své paměti, odešle jej s potvrzením zpět UE. Tato komunikace zahrnuje mnoho malých paketů, neboť žádná z částí komunikace (žádost, odpověď, obsah samotné stránky) není příliš objemná.

2.3.2 FTP (File Transfer Protocol)

Průchod dat sítí je prakticky stejný jako v případě dat webových stránek. Přenos dat přes FTP se ale od toho s webovým obsahem liší. Komunikace UE s www serverem je složena z mnoha žádostí o zaslání obsahu konkrétní stránky a odpovědí serveru. Na rozdíl od toho FTP přenos pracuje v drtivé většině případů s daleko většími koláči dat (soubory). S tím je spojena opět potřeba spolehlivého přenosu dat, pokud totiž nedorazí část souboru nebo archivu s velkou pravděpodobností s ním nebude možno dál pracovat a získat z něj uložené informace.

3 PŘENOS DAT A ZAJISTĚNÍ KVALITY SLUŽEB (QOS)

3.1 Úvod

Mobilní síť UMTS je založena na systému CDMA (*Code Division Multiple Access*), resp. WCDMA (*Wide-CDMA*). Tato technologie používá k přenosu dat sdílené pásmo. Všechny signály mezi NodeB a všemi pod něj spadajícími UEs jsou sdíleny jedním rádiovým kanálem. Jejich rozlišení je provedeno jedinečným skramblovacím kódem [8]. Skramblovací kód je přidělen každému UE připojenému k síti a každému NodeB. Použitá technologie (CDMA) předurčuje síť UMTS k tomu, aby měla paketový charakter. Jedná se o paketově spínanou síť. Jedním z hlavních úkolů sítě UMTS je zajistit spojení mobilních účastníků se sítí Internet. Ze zřejmých důvodů je tedy využita architektura ISO/OSI, která se používá v sítích založených na IP (*Internet Protocol*).

3.2 Referenční komunikační model ISO/OSI

Model ISO/OSI (*International Standards Organization / Open System Interconnection reference model*) rozděluje vzájemnou komunikaci mezi koncovými prvky sítě do 7 vrstev (sada vrstev protokolu). Úkolem každé vrstvy je poskytovat služby následující vyšší vrstvě a nezatěžovat vyšší vrstvu detaily o tom, jak je služba ve skutečnosti realizována [13].



Obr. 2: Referenční model ISO/OSI.

3.2.1 Fyzická vrstva

Definuje prostředky pro komunikaci s přenosovým médiem a s technickými prostředky rozhraní. Definuje fyzické, elektrické, mechanické a funkční parametry týkající se fyzického propojení jednotlivých zařízení. Tato vrstva je hardwarová.

3.2.2 Linková vrstva

Zajišťuje integritu toku dat z jednoho uzlu sítě na druhý. V rámci této činnosti je prováděna synchronizace bloků dat a řízení jejich toku. Tato vrstva je hardwarová.

3.2.3 Síťová vrstva

Tato vrstva definuje protokoly pro směrování dat, jejichž prostřednictvím je zajištěn přenos informace do požadovaného cílového uzlu. V lokální síti vůbec být nemusí, pokud se nepoužívá směrování. Je hardwarová, ale v případě že směrování řeší PC se dvěma síťovými kartami, je softwarová.

3.2.4 Transportní vrstva

Vrstva transportní definuje protokoly pro strukturované zprávy a zabezpečuje bezchybnost přenosu (provádí některé chybové kontroly). Řeší např. rozdělení dat do paketů a potvrzování. Je softwarová.

3.2.5 Relační vrstva

Koordinuje komunikace a udržuje relaci tak dlouho, dokud je potřebná. Zajišťuje zabezpečování, přihlašovací a správní funkce. Je softwarová.

3.2.6 Prezentační vrstva

Specifikuje způsob, jakým jsou data formátována, prezentována, transportována a kódována (např. řeší diakritiku, CRC, kompresi a dekompresi dat, šifrování). Je softwarová.

3.2.7 Aplikační vrstva

Tato vrstva je nejvyšší vrstvou modelu ISO/OSI. Zajišťuje služby softwaru, skrze který uživatel žádá síťové služby. Komunikuje s aplikacemi např. databázovými, elektronické pošty nebo s programy pro emulaci terminálů. Používá služby nižších vrstev a díky tomu je izolována od problémů síťových technických prostředků. Je softwarová.

3.3 RLC (Radio Link Control) protokol

Protokol RLC má za úkol zajištění spolehlivosti doručení dat, tedy nějakým mechanismem zařídit doručení odesílatelem vyslaných paketů k příjemci, dle požadavků aplikace. V rámci řízení provozu RLC protokolem existují 3 módy datových přenosů: *Transparent Data Transfer Service Mode* (TR), *Unacknowledged Data Transfer Mode* (UM) a *Acknowledged Data Transfer Service Mode* (AM).

3.3.1 Transparent Data Transfer Service Mode (TR)

TR je unicastový (jednosměrný) mód, který negarantuje bezeztrátový přenos. Používá se pro streamovaná data (Audio, Video). Hlavním úkolem je zajistit živý (real-time) přenos, méně důležitá je potom chybová spolehlivost. Obsahuje zahazovací mechanismus, který zajistí nedoručení již prošlého PDU (*Protocol Delivery Unit*).

3.3.2 Unacknowledged Data Transfer Service Mode (UM)

UM je podobně jako TR unicastový, používá se typicky pro aplikace s „kontinuální“ třídou (*streaming class*), u kterých není nutno zajistit bezchybný přenos. Používá se i u VoIP (konverzační třída). Nezaručuje doručení dat cílové stanici. Oproti TR používá kontrolu „sequence-number“. Díky této kontrole je UM schopno odhalit chybějící RLC PDUs, nezajišťuje ale záchranu těchto ztracených dat. Stejně jako TR obsahuje zahazovací mechanismus – nedoručuje prošlé PDUs, které by narušovaly průběh přenosu (nesou část dat, s největší pravděpodobností již zobrazených nebo zařazených v bufferu).

3.3.3 Acknowledged Data Transfer Service Mode (AM)

AM jako jediný mód zaručuje doručení dat příjemci. Převážně využíván pro třídy „interaktivní“ a „na pozadí“. Pro nápravu přenosových chyb se používá systém ARQ (*Automatic Repeat reQuest*), verze „selective repeat“.

3.3.4 Automatic Repeat reQuest (ARQ) – Selective repeat

ARQ funguje na principu opakované žádosti. Jestliže blok k příjemci nedorazí, nebo dorazí poškozen, posílá zpět NACK (NegativeACK). Když dorazí v pořádku, posílá zpět odesílateli ACK (Acknowledgement). Pokud zpět přijde např. NACK7, odesílatel ví, že má poslat znovu blok s číslem 7. Pokud přijde odesílateli ACK7, ví, že může odeslat blok č. 8, resp. skupinu bloků začínající blokem 8. Tento systém je velice efektivní v rámci využití přenosové kapacity sítě, ovšem nese s sebou složitější implementaci.

Tabulka 1: Třídy QoS [14]

Třída QoS	Konverzační (Conversational) real time	Kontinuální (Streaming) real time	Interaktivní (Interactive) real time	Na pozadí (Background) real time
Základní vlastnosti	Zachování časových rozdílů mezi informačními entitami datového toku Dialogový charakter (striktně nízké zpoždění)	Zachování časových rozdílů mezi informačními entitami datového toku	Charakter žádost – odpověď Zachování obsahu dat (<i>preserve payload content</i>)	Cíl neočekává data v určitý čas Zachování obsahu dat (<i>preserve payload content</i>)
příklad aplikace	hlas	video stream	web browsing	měření, email

Konverzační a Kontinuální třídy se používají v případě přenosu multimediálních dat aplikací pracujících v reálném čase (např. videokonference). Zbylé dvě třídy zajišťují přenos dat aplikací typu FTP nebo web, apod. Při použití Kontinuální třídy, tedy u streamování dat v reálném čase, se používá tzv. „Leaky Bucket Algorithm“ (algoritmus děravého vědra). Leaky Bucket pracuje s proměnlivým bitovým tokem na svém vstupu (výstup aplikace) a zajišťuje stabilní bitový tok na svém výstupu. Funguje podobně, jako když do vědra vyvrtáte díru a lijete do něj s proměnlivou rychlostí vodu. Ven voda vždy poteče s prakticky stejným průtokem. Pokud se stane, že průměrný přítok do kbelíku bude větší než odtok, kbelík přeteče. Stejně funguje i fronta algoritmu Leaky Bucket. Pokud přichází objem dat naplní zásobník, další data (dokud se místo neuvolní) jsou zkrátka zahazována. Pro znázornění je přiložen obrázek (viz Obr. 4).



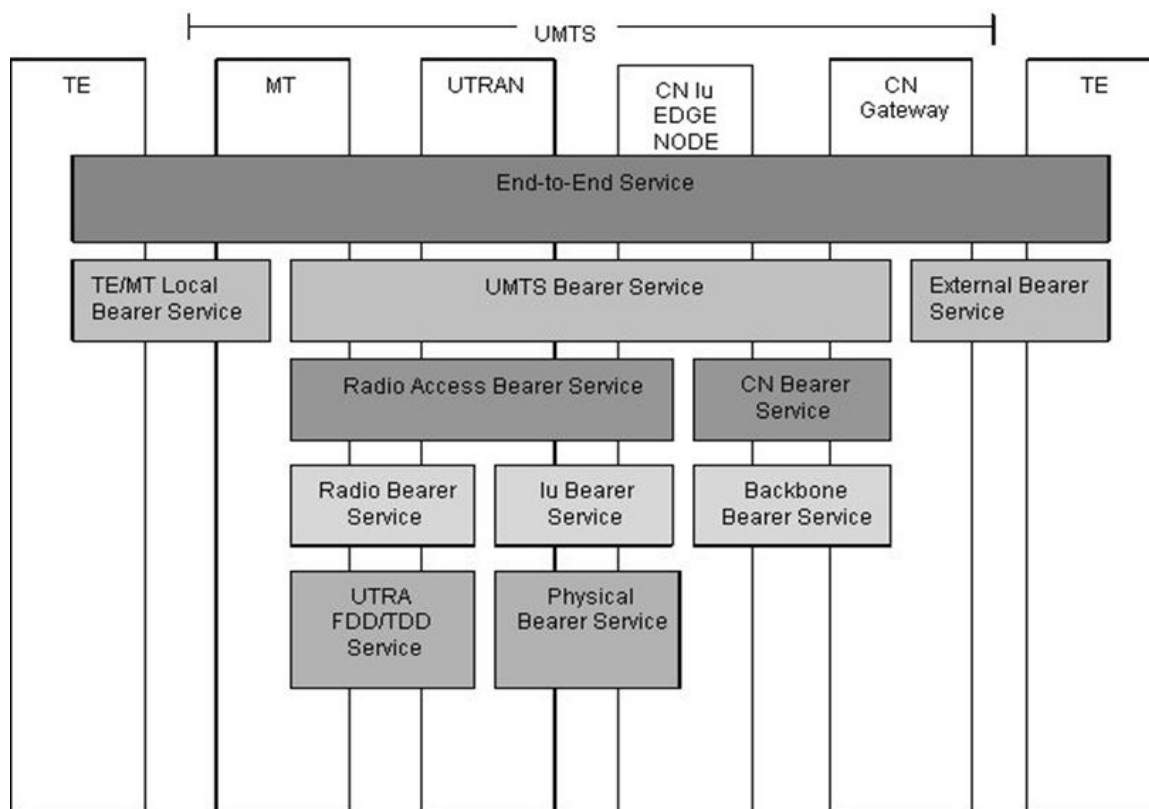
Obr. 4: Leaky Bucket Algorithm.

3.4.2 Nosná služba (*Bearer Service*)

Pro zajištění kvality služeb musí být sestavena „Nosná Služba“ (*Bearer Service*) od zdroje k příjemci služby s jasně definovanými vlastnostmi a funkcemi. Nosná služba zahrnuje všechny aspekty potřebné pro zajištění sjednané kvality služeb (mimo jiné, „*control signalling, user plane transport a QoS management functionality*“). Nosná služba definuje přístupy k zajištění kvality služeb v jednotlivých částech sestavené přenosové cesty (viz Obr. 5).

Atributy nosné služby:

- Přenosová třída (*Traffic class*)
 - (konverzační, kontinuální, interaktivní, na pozadí)
- Maximální přenosová rychlost (kb/s) (*Maximum bit rate*)
- Garantovaná přenosová rychlost (kb/s) (*Guaranteed bit rate*)
- Spolehlivá služba (Ano / Ne) (*Delivery order (y/n)*)
- Maximální velikost SDU (oktety) (*Maximum SDU size (octets)*)
- Informace o formátu SDU (bity) (*SDU format information (bits)*)
- Míra chybovosti SDU (*SDU error ratio*)
- Zbytková bitová míra chybovosti (*Residual bit error ratio*)
- Doručování chybových SDU paketů (A/N/-) (*Delivery of erroneous SDUs (y/n/-)*)
- Přenosové zpoždění (ms) (*Transfer delay (ms)*)
- Priorita provozu (Traffic handling priority)
- Alokační/Retenční priorita (*Allocation/Retention Priority*)
- Popisovač zdrojových statistik („řeč“ / „neznámý“) (*Source statistics descriptor ('speech'/'unknown')*)



Obr. 5: Schéma architektury „Nosné Služby“ v UMTS [14].

3.5 PDP kontext (Packet-Data-Protocol)

PDP kontext je uživatelský datový profil a je uložen v UE, SGSN (*Serving GPRS Support Node*) a GGSN (*Gateway GPRS Support Node*). Obsahuje informace o účastnické relaci (např. APN, IP adresa, QoS profil). Pokud mobilní stanice chce přenášet data, musí se nejprve připojit a poté aktivovat PDP context. Tím namapuje datovou strukturu v SGSN, ke kterému je účastník aktuálně připojen a GGSN který právě představuje účastníkům Access Point.

PDP kontext je jedním z nejdůležitějších konceptů datové struktury UMTS viz Obr. 7. Skládá se z řady parametrů, které obsahují veškeré potřebné informace k založení spojení typu „end-to-end“.

Informace obsažené v PDP kontextu:

- PDP Typ
- PDP adresa
- Požadovaný QoS profil (parametry QoS požadované uživatelem)
- Vyjednaný QoS profil (parametry QoS vyjednány sítí)

- Typ ověření – PAP (Public Access Profile) nebo CHAP (Challenge-Handshake Authentication Protocol)
- Typ DNS (statický DNS nebo dynamický DNS) [5]

3.5.1 Vícenásobné PDP kontexty

Mobilní uživatelé čím dál častěji využívají, nebo by chtěli, více služeb najednou. Tyto služby budou mít s největší pravděpodobností různé požadavky na zajištění kvality služeb a mohou také požadovat data z různých datových sítí, ke kterým má účastník přístup.

Vícenásobný PDP kontext znamená, že UE může mít aktivováno více PDP kontextů najednou. Každý z těchto kontextů může v tu samou chvíli mít různý QoS profil. Primární PDP kontext je normální PDP kontext se základním QoS profilem a je vždy aktivován jako první. Při použití více primárních PDP kontextů má každý z nich jinou PDP adresu a jiný APN – přístupový bod. [5]

Vícenásobné PDP kontexty se dělí do dvou kategorií:

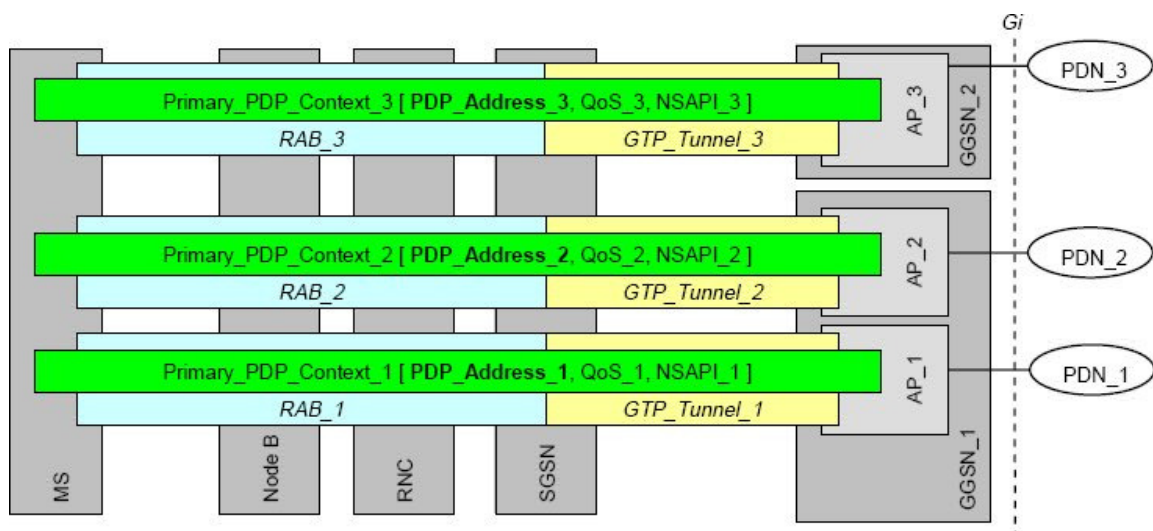
a) Vícenásobné primární PDP kontexty

Umožňují spojení s různými datovými sítěmi – PDN (*Packet Data Network*). Vícenásobné primární PDP kontexty jsou dva a více na sobě nezávislých primárních PDP kontextů používajících unikátní PDP adresy. Dávají možnost simultánních spojení s různými PDN sítěmi, např. připojení k internetu pro jednu aplikaci a připojení do soukromé sítě pro aplikaci jinou.

Kromě unikátních PDP adres má každý primární PDP kontext přiděleno své QoS a NSAPI (*Network Layer Service Access Point Identifier*). Každý PDP kontext má svůj samostatný RAB (*Radio Access Bearer*) a GPT tunel pro přenos uživatelských dat.

PDP kontexty končí převážně v různých přístupových bodech na straně sítě, přestože mohou končit ve stejném přístupovém bodu. Přístupové body mohou být umístěny v jednom nebo ve více různých GGSN uzlech.

Následující obrázek (Obr. 6) ukazuje přenosovou cestu uživatelských dat pro tři primární PDP kontexty poskytujících spojení s třemi různými PDN sítěmi.



Obr. 6: Vícenásobné primární PDP kontexty [5].

Primární PDP kontexty mohou být aktivovány, či deaktivovány nezávisle na sobě. QoS každého kontextu může být změněno procedurou Modifikace PDP kontextu, která je iniciována mobilní stanicí (UE) nebo sítí. [5]

b) Sekundární PDP kontexty

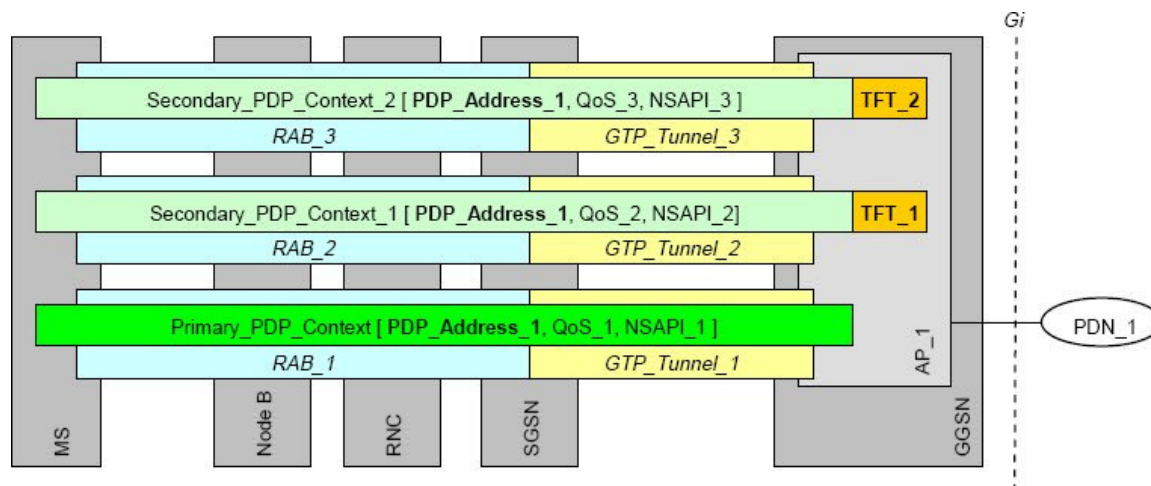
Sekundární PDP kontext je vždy přidružen jednomu primárnímu PDP kontextu. PDP adresa (IP adresa) a přístupový bod (AP) jsou stejné s daným primárním kontextem. Z tohoto důvodu oba kontexty (primární i k němu přidružený sekundární) zajišťují spojení se stejnou PDN sítí, ovšem s lišícím se garantovaným QoS.

Jeden primární PDP kontext může mít přidruženo i několik sekundárních kontextů. Každý z kontextů má svůj RAB a GTP tunel pro přenos uživatelských dat. Krom toho má každý z kontextů svůj unikátní NSAPI (*Network Layer Service Access Point Identifier*).

Primární PDP kontext musí být aktivován před jakýmkoliv sekundárním PDP kontextem. Primární kontext zůstává aktivní (a případně i další sekundární kontexty) i když je kterýkoliv sekundární kontext deaktivován. Pokud je ovšem deaktivován primární PDP kontext, spolu s ním jsou uvolněny i všechny k němu přidružené sekundární PDP kontexty. QoS kteréhokoliv z kontextů (primární nebo sekundární) může být upraveno pomocí procedury Modifikace PDP kontextu spuštěnou na žádost UE nebo sítě.

Jelikož v tomto případě všechny kontexty, primární a spolu s ním i každý sekundární, mají stejnou PDP adresu (IP adresu), je zaveden TFT (*Traffic Flow Template*) soubor, aby směřoval data přijímaná účastníkem do správných GTP tunelů a tedy i do správných RAB.

Obrázek ukazuje příklad s aktivovaným jedním primárním PDP kontextem a dvěma sekundárními PDP kontexty.



Obr. 7: Jeden primární PDP kontext a dva sekundární PDP kontexty [5].

Kombinace použití několika primárních PDP kontextů a několika sekundárních je také možná. Příkladem může být: dva primární kontexty s jedním sekundárním pro každý primární, což vyústí ve čtyři aktivované PDP kontexty. [5]

c) TFT Traffic Flow Template

TFT jsou používány GGSN k rozdělení uživatelských dat. Filtrují datový tok tak, že z něj vybírají data podle předem zadaných kritérií. Mohou ale nemusí být použity všechny:

- Adresa zdroje (včetně masky sítě)
- Číslo IP protokolu
 - 51 – AH Authentic Header, 50 – ESP Encapsulating Security Payload
- Rozsah cílových portů
- Rozsah zdrojových portů
- IPSec Security Parameter Index (SPI)
- Typ služby (ToS – *Type of Service*)

TFT je poskytováno mobilním uživatelem (UE) v rámci požadavku na aktivaci sekundárního PDP kontextu, je uloženo v GGSN a prozkoumáváno při směřování datových toků ve směru k UE. Může být změněno pomocí UE iniciovanou procedurou Modifikace PDP kontextu. Také může být přiděleno primárnímu PDP kontextu stejnou procedurou jako

přidělení k primárnímu PDP kontextu, iniciace opět ze strany UE. Pro zajištění flexibility při filtrování dat se skládá z jednoho až osmi paketových filtrů. [5]

3.6 Správa relací

PDP kontext je součástí tzv. Správy Relací (*Session Management*) sítě UMTS. Správa relací navazuje, upravuje a spouští paketově orientované datové relace s dobře definovanou podporou kvality služeb mezi UE a GGSN. Vlastnosti paketových relací nazýváme PDP kontexty. Procedury SM předpokládají a vyžadují existující GMM kontext (GSM Mobility Management).

Procedury SM

- Aktivace PDP kontextu (*PDP context activation*)
 - Jsou nastaveny: PDP adresa, QoS atd.
- Modifikace PDP kontextu (*PDP context modification*)
 - Modifikuje se QoS, atd.
- Deaktivace PDP kontextu (*PDP context deactivation*)
 - Datová relace je uvolněna.

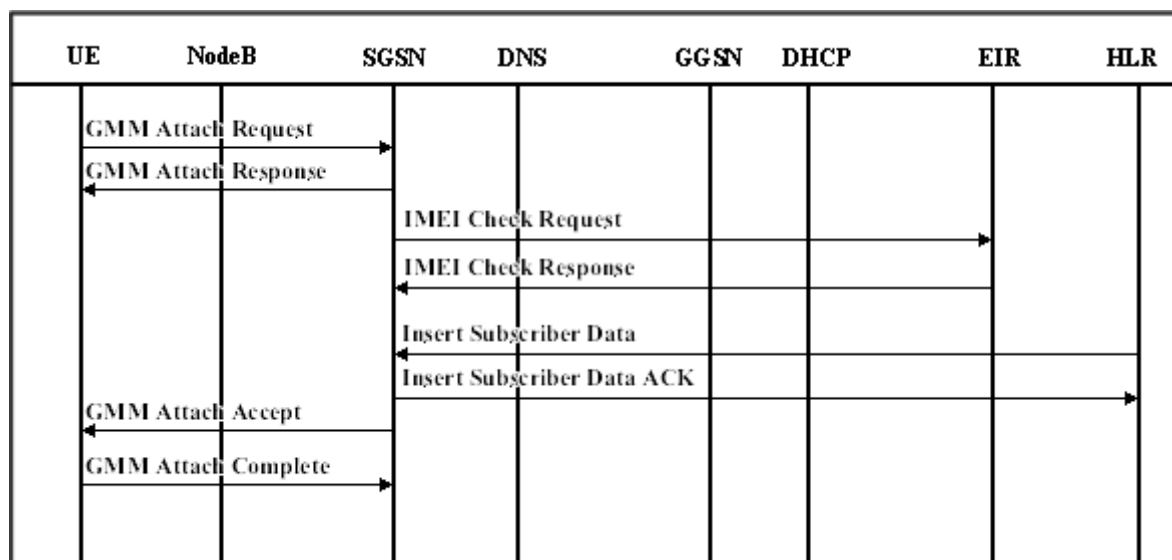
3.6.1 Vytvoření PDP kontextu

Uživatel, resp. UE se nejprve musí do sítě přihlásit, předá své IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) a IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) uzlu SGSN, který si pomocí registru HLR (*Home Location Register*) ověří, že UE požaduje po síti služby oprávněně (ověří zda není ukradeno, poškozeno a jaké služby má předplaceny). SGSN si po ověření identity UE, zkopíruje informace z HLR a přidělí UE dočasně P-TMSI (*Packet – Temporal Mobile Subscriber Identity*). Pod tímto identifikátorem (P-TMSI) s UE dále komunikuje. Tímto postupem proběhl tzv. GPRS Attach. Aby mohl UE komunikovat v síti a přenášet data, musí se síti ještě vyjednat PDP (*Packet Data Protocol*) kontext. PDP kontext se seskládá z PDP adresy (obvykle IP adresa), která se přiděluje staticky nebo dynamicky, z dohodnutých QoS parametrů, atd. (viz odstavec 3.5). Kontext se uchovává v UE, SGSN a GGSN. Po přidělení tohoto kontextu se UE stává „viditelným“, dostupným na přidělené IP adrese / adresách (pokud má aktivováno více primárních PDP kontextů). UE je dostupné po celou dobu existence PDP kontextu, nezáleží na tom zda něco přenáší nebo ne. Pokud má být PDP kontext zrušen může tak být učiněno na popud UE nebo sítě. Procedura se nazývá

„Deaktivace PDP kontextu“ (*PDP Context Deactivation*). Když se účastník odpojuje od sítě probíhá procedura „GPRS Detach“.

a) Navázání spojení

Na Obr. 8 je naznačen průběh přihlášení UE do mobilní sítě. Jakmile je přístroj zapnut, vysílá k SGSN signál „GMM Attach Request“, tedy žádost o GMM Attach (*GPRS Mobility Management Attach*). SGSN prohledá svou databázi, zda již v ní nemá uložen záznam o tomto přístroji. Pokud nemá, požaduje po UE identifikaci – „Identity Request“. Po proběhnutí identifikace, kdy si SGSN ověří, že UE má platnou SIM a může komunikovat – „Identity Response“, je nutno ještě zjistit jestli mobilní přístroj není kradený. Proto je požadováno číslo IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) – „IMEI Check Request“. V registru EIR (*Equipment Information Register*) je ověřeno, jestli je UE používáno oprávněně – „IMEI Check Response“. Jakmile je zjištěno, že vše je v pořádku, SGSN komunikuje s HLR (*Home Location Register*), sděluje mu novou polohu UE. HLR posílá SGSN signál „Insert Subscriber Data“ (vložení dat o účastníkovi), kterým aktualizuje databázi SGSN kompletními informacemi o UE. SGSN potvrzuje přijetí dat signálem „Insert Subscriber Data Ack“ (potvrzení vložení dat o účastníkovi). SGSN signálem GMM Attach Accept (Přijetí GMM Attach) potvrzuje UE úspěšné připojení k síti, UE odpovídá signálem GMM Attach Complete na znamení vyrozumění.



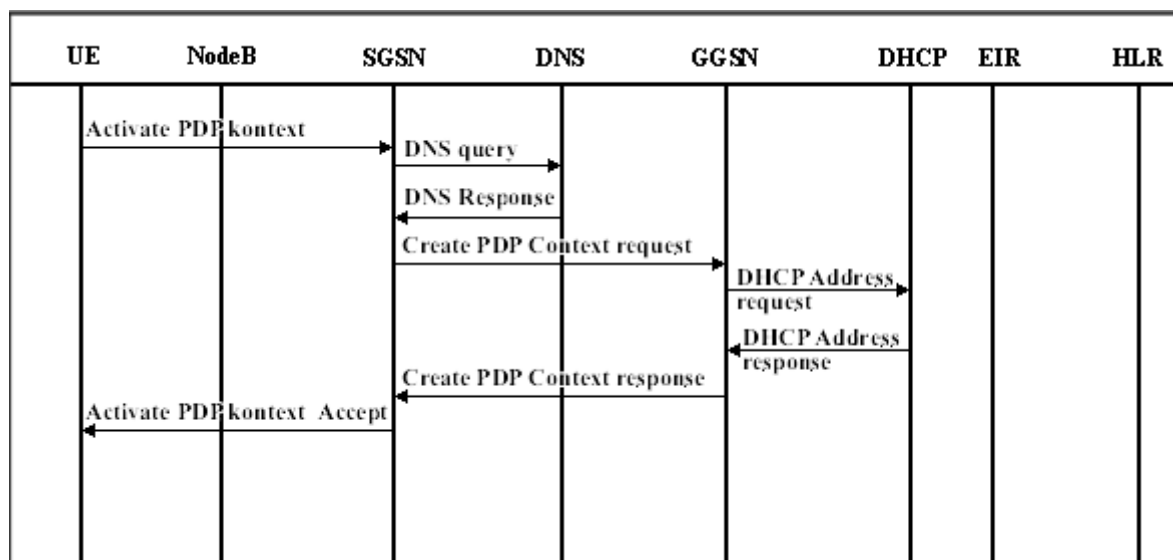
Obr. 8: GPRS Attach.

b) Aktivace Primárního PDP kontextu

Tato procedura se používá k navázání logického spojení s podporou kvality služeb skrz síť od UE k uzlu GGSN. Je iniciována UE, mění stav správy relací na „aktivní“, vytváří

PDP kontext, přijímá IP adresu a rezervuje rádiové zdroje. Po aktivaci PDP kontextu může UE posílat IP pakety přes rádiové rozhraní. UE může mít až 11 souběžných PDP kontextů. [5]

Obr. 9 naznačuje průběh zavedení PDP kontextu. Jako první vysílá UE uzlu SGSN žádost o aktivaci PDP kontextu – „Activate PDP Context“, jako parametr je přenášeno jméno přístupového bodu – APN (*Access Point Name*) specifikováno poskytovatelem služeb (operátorem). SGSN zahajuje DNS dotaz – „DNS Query“, aby zjistil který GGSN koresponduje s APN udaným UE. DNS odesílá zpět zprávu s IP adresou požadovaného GGSN (DNS Response). Dál pak směřuje SGSN právě vytvořený PDP kontext k GGSN s APN, které zadal UE. Po autentifikaci na severu RADIUS žádá GGSN DHCP server o dynamickou adresu pro UE – „DHCP Address Request“. DHCP server odpovídá přidělením IP adresy – „DHCP Address Response“. Po úspěšném proběhnutí těchto procedur GGSN odesílá odpověď na předešlý signál SGSN – „Create PDP Context Response“ s potvrzením o úspěšném založení PDP kontextu. Nakonec SGSN odesílá UE potvrzení o založení PDP kontextu – „Activate PDP Context Accept“.



Obr. 9: PDP context activation.

c) Aktivace Sekundárního PDP kontextu

Tato procedura umožňuje účastníkovi založit nový PDP kontext se stejnou IP adresou jakou má jeho primární PDP kontext. Tyto kontexty mohou mít různé QoS profily, což dělá tuto funkci užitečnou pro aplikace vyžadující různé nároky na kvalitu služeb (například IP multimédia). Přístupový bod bude pro oba kontexty stejný, tedy připojují se k té samé pevné (vnější) datové síti (PDN). [5]

d) Modifikace PDP kontextu

Uživatel (UE), SGSN nebo GGSN mohou iniciovat tuto proceduru, za účelem zaktualizování daného PDP kontextu. Dodatečně může o modifikaci PDP kontextu požádat také RAN (*Radio Access Network*), například pokud bylo ztraceno spojení s UE (díky pokrytí, atd.). Procedura upravuje parametry, které byly vyjednány při aktivaci jednoho nebo více PDP kontextů (primárních nebo sekundárních). [5]

e) Deaktivace PDP kontextu

Tato procedura maže jednotlivá logická spojení mezi UE a GGSN. Požadavek na tuto proceduru může být zaslán účastníkem (UE), SGSN, HLR nebo GGSN. [5]

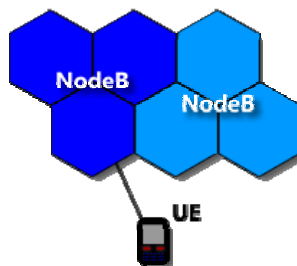
3.7 Handover

Síť UMTS se vyznačuje „buňkovou strukturou“, je to takzvaná „celulární síť“. Co to vlastně znamená, v síti se nachází několik vysílačů (NodeB), každý z nich vytváří tzv. „buňku“. Tato buňka se ještě dále rozděluje na 3 „sektory“. Tento princip umožňuje teoreticky vzato pokrýt neomezené území jedinou sítí. Přináší to s sebou ovšem problém, jak zajistit spojení účastníka se sítí v případě, že přechází mezi jednotlivými buňkami (sektory). Právě za tímto účelem byla vyvinuta procedura Handover (někdy se používá také „Handoff“). Procedura Handover používaná v UMTS má několik typů, Hard handover (tvrdý handover), Soft handover (měkký handover) a Softer handover (sektorový handover).

3.7.1 Hard handover

Hard handover (tvrdý handover) znamená, že všechny rádiové spoje v UE jsou přerušeny předtím, než jsou vytvořeny nové. Hard handover může být seamless (bezešvý) nebo non-seamless (není bezešvý). Seamless znamená, že účastník proceduru handover nezaznamená. V praxi, pokud handover požaduje změnu nosné frekvence (mezi-frekvenční handover – inter-frequency handover), je vždy vykonán jako Hard handover. [15]

Tento typ Handoveru se používá v sítích UMTS se systémem TDD (*Time Division Duplex*). [9]

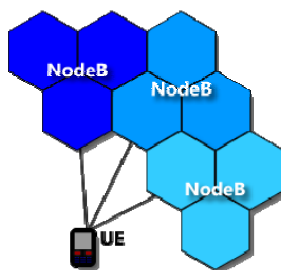


Obr. 10: Hard handover, UE je vždy připojen jen jediné buňce (sektoru).

3.7.2 Soft handover

Tento typ handoveru pracuje s předpokladem, že UE si udržuje minimálně jedno spojení s NodeB stále aktivní. Postupně může vytvářet další, jakmile je zapotřebí. V okamžiku, kdy je vytvořeno nové spojení, starší může být přerušeno. Soft handover pracuje na principu makrodiverzity, která umožňuje několik souběžných rádiových spojení. Většinou se soft handover používá, když UE přechází mezi buňkami, které pracují na stejné frekvenci. [15]

Uvažujeme-li technologii FDD (*Frequency Division Duplex*), pak může být UE připojeno až ke třem různým NodeB's. Data určená pro UE jsou rozdělena příslušným (serving) RNC pro několik NodeB's, které data vysílají do éteru. Koncové zařízení (UE) je po přijetí skládá do původní podoby. Podobně je tomu i v opačném směru. Tento typ handoveru je velmi výhodný právě pro oblasti hranic mezi buňkami, kdy UE může přijímat i vysílat s podstatně nižším potřebným vysílacím výkonem, než by tomu bylo u hard handoveru. [9]

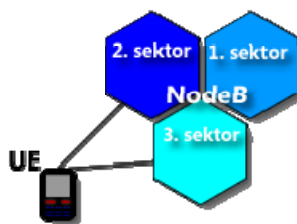


Obr. 11: Soft handover, UE je vždy připojen minimálně k jedné buňce (sektoru).

3.7.3 Softer handover

Neboli sektorový handover. Je speciálním případem Soft handoveru. Tato procedura se používá v případě, že rádiové linky, které jsou navazovány a přerušovány, spojují UE se stále stejným NodeB. UE se tedy pohybuje v dosahu jedné stanice a přechází mezi jejími sektory (každá buňka se skládá ze tří sektorů, NodeB má 3 směrové vysílače). [15] Rozdíl

oproti soft handoveru je také v tom, že rozdělování a kompletace dat při směrování přes více vysílačů, je prováděno uvnitř NodeB, RNC je tedy oprostěn od této povinnosti [9].



Obr. 12: Softer handover, UE je vždy připojen minimálně k jednomu sektoru, ale vždy jen k jedinému NodeB.

4 NÁVRH MODELU SÍTĚ UMTS S PŘIPOJENÍM K PEVNÉ SÍTI

4.1 Úvod

V poslední části semestrálního projektu se budu věnovat teoretickému náhledu na návrh modelu UMTS sítě, který budu v rámci praktické části bakalářské práce simulovat v programu OPNET.

Každá síť typu UMTS se skládá ze tří základních částí: páteřní síť – CN, rádiová přístupová síť – UTRAN a uživatelské zařízení – UE.

4.2 UE (User Equipment)

UE představuje veškeré přístroje připojující se přes rádiové rozhraní do UMTS sítě, může to být např. mobilní telefon podporující 3G, MDA (Mobile Digital Asistent) nebo Laptop s 3G (nebo 4G – T-mobile) modemem. Dělí se na dvě části:

a) ME (Mobile Equipment)

Část koncového zařízení, jež se stará o navázání radiového spojení přes rádiové rozhraní [11].

b) USIM (UMTS Subscriber Identity Module)

Slouží k identifikaci UE, resp. uživatele v síti. Uchovává např. IMEI (*International Mobile Equipment Identity*) nebo IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*). Uchovává autorizační a šifrovací klíče [11].

4.3 UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

UTRAN představuje zprostředkování přenosu informace mezi UEs a CN (*Core Network*). Dělí se na dvě části: Node-B (vysílací stanice) a RNC (*Radio Network Controller*)

4.3.1 Node-B (WCDMA base station)

Podle 3GPP je Node-B oficiálním názvem pro základnovou stanici. Ovšem existují jiné zaběhlejší názvy, WBTS, BTS nebo jen BS. Node-B je hraničním prvkem mezi rádiovým rozhraním (UEs) a transportní sítí RAN (resp. UTRAN), proto musí podporovat jak WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) tak i ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)

technologii. Z toho vyplývá, že musí podporovat připojení přes plesynchronní digitální hierarchii nebo synchronní digitální hierarchii (PDH nebo SDH). Oproti základnovým stanicím v předešlých generacích mobilních sítí je Node-B výrazně komplexnějším zařízením. Musí být schopna zajistit veškeré potřebné funkce zpracování signálu pro systém WCDMA, tedy pro přenos signálu přes rádiové rozhraní. Někteří výrobci implementují do Node-B stanic podporu více řešení, tedy vysílač/přijímač pro GSM, EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*) a WCDMA.

4.3.2 RNC (Radio Network Controller)

Kontrolér rádiové sítě (RNC) by se dal přirovnat k srdci UTRANu. RNC vykonává veškeré úkony spojené s rozhodováním o řízení provozu sítě. Je zodpovědný za dohled nad všemi NodeB's, které jsou k němu připojeny a zajišťuje spojení s CS (*Circuit Switched*) a PS (*Packet Switched*) částí CN (*Core Network*) tedy s MSC (*Mobile Switching Centre*) a SGSN. Na procesní výkon RNC jsou pokládány velké nároky, protože většina z rozhodnutí je vykonána softwarově.

4.4 CN (Core Network)

Jádro sítě má dvě základní části, první je pozůstatkem jádra systému GSM a je tedy okruhově spínaná, druhá je pozůstatek GPRS jádra, je založena na spínání paketů.

4.4.1 CS (Circuit Switched)

Tato část CN má za úkol zprostředkování přenosu hlasu mezi mobilní sítí (případně i v rámci mobilní sítě) a sítí PSTN (*Public Switched Telephone Network*), tedy dobře známou pevnou linkou.

a) 3G MSC / VLR (Mobile Switching Centre / Visitor Location Register)

Přesto, že 3G MSC je velmi podobné 2G MSC, jsou zde třeba určité vylepšení. Například oproti GSM systému se 3G MSC musí vypořádat s problémem, že na straně UTRAN není hlas kódován PCM (*Pulse Code Modulation*) na 64kb/s jako v GSM. V rámci ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), které využívá AMR (*Adaptive Multi Rate*), je hlas kódován na rychlosti od 4,75kb/s do 12,2kb/s. Proto je v MSC zařazen tzv. IWF (*InterWorking Function*). IWF má dvě funkce, první je propojení širokopásmového ATM s 64kb/s TDM (*Time Division Multiplex*) sítí GSM, druhou funkcí je transkódování hlasového signálu mezi těmito sítěmi. Kombinace IWF a 2G MSC je považována za 3G MSC. Mnoho

výrobci využívá možnosti zachovat původní GSM hardware, tedy IWF vkládá do samostatné jednotky – IWU (*InterWorking Unit*).

b) GMSC (Gateway Mobile Switching Centre)

Představuje bránu do pevných okruhově spínaných sítí (PSTN - hovory, ISDN - data). Pokud přichází hovor z pevné sítě do mobilní (na nějaký mobilní telefon), brána GMSC spolupracuje s HLR (*Home Location Register*), aby zjistila polohu přístroje.

4.4.2 PC (Packet Switched)

Paketově spínaná část jádra sítě zprostředkovává spojení se sítěmi založenými na IP (*Internet Protocol*), internet nebo intranet.

a) SGSN (Serving GPRS Support Node)

Tento blok umožňuje směrování paketů od a k UE. Je zodpovědný za správu mobility, tedy možnost volného pohybu UE v dosahu některého z Node-Bs a přechodu mezi jednotlivými buňkami, bez ztráty spojení. Odpovídá také za ověřování identit a šifrování dat od a k UEs v oblasti jeho dosahu.

b) GGSN (Gateway GPRS Support Node)

Představuje bránu k externím sítím ISP (*Internet Service Provider* – Poskytovatel služeb internetu) [12]. Pod sebou má GGSN DHCP server přidělující IP adresy všem UEs, kteří se přes danou bránu připojují do vnější sítě. Od SGSN a HLR získává potřebné informace o UE.

5 SIMULACE MODELU SÍTĚ UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER

5.1 Úvod

V této části bakalářské práce se věnuji praktickému náhledu na možnosti sítě UMTS, v první simulaci se zabývám modelem sítě, ve kterém se nachází pouze jeden účastník (UE) a v průběhu scénáře postupně požaduje více služeb, které později běží simultánně (HTTP, EMAIL, FTP, VoIP). Simulace se skládá ze dvou scénářů, v prvním z nich je síť nastavena pro podporu kvality služeb. Druhý ze scénářů pracuje s modelem sítě bez podpory kvality služeb. Ve shrnutí výsledků pak porovnávám hodnoty zpoždění a celkový dopad zajištění kvality služeb na průběh aplikací.

V druhé simulaci se zaměřuji na síť se třemi účastníky, dva z nich se v průběhu scénáře pohybují mezi buňkami sítě, jeden je statický, setrvává po celou dobu simulace na jednom místě (pro představu, tento UE může být PC s modemem 4G od T-mobile). Účastníci, kteří se pohybují přechází do buňky, ve které se nachází statický UE. V důsledku tak zatěžují více jeden NodeB. Simulace obsahuje dva scénáře. První simuluje síť, ve které je podporován soft handover, ve druhém scénáři je v síti podpora soft handoveru vypnuta, tedy pro přechod mezi buňkami (sektory) musí UE podstoupit proceduru hard handover. Ve shrnutí výsledků srovnávám zpoždění přístupu ke službám v závislosti na typu handoveru.

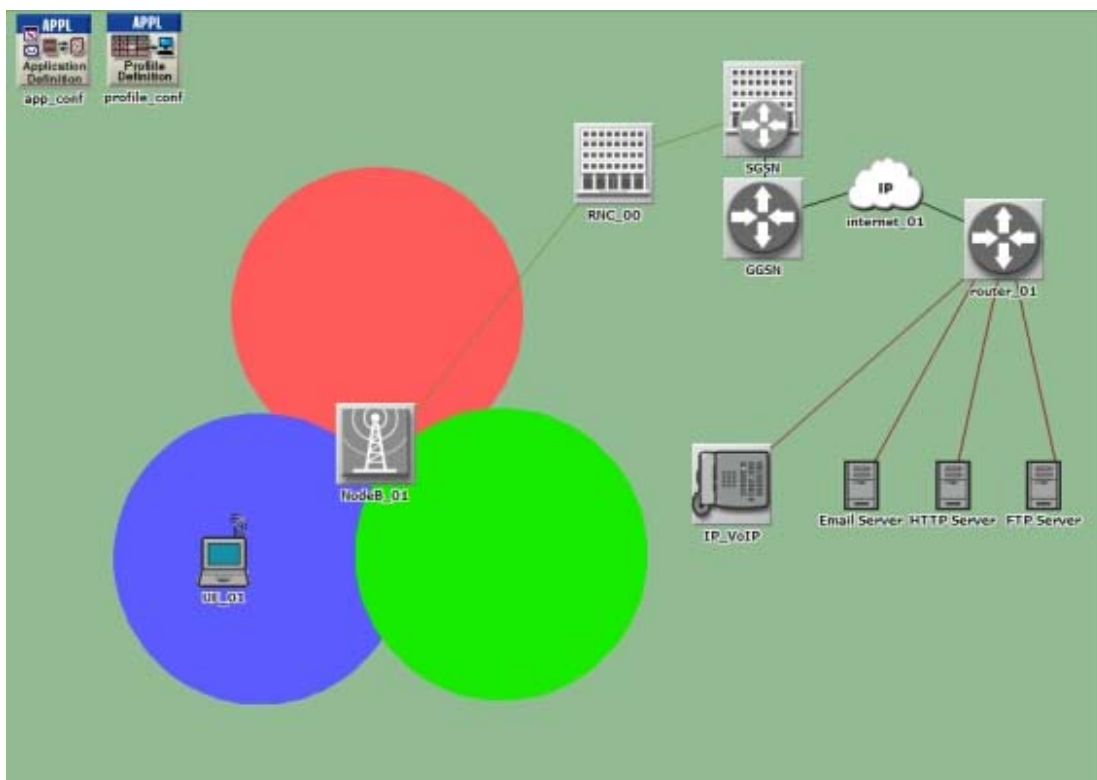
5.1.1 Pozorování zpoždění aktivace PDP kontextu při současném požadavku na více služeb

Projekt: bp_UMTS_sluzby_simultanne.prj

a) Návrh modelu sítě

UMTS síť, respektive model sítě se skládá z části UTRAN, která obsahuje jednu základnovou stanici (NodeB) a jednoho účastníka (UE), a z části CN, kterou tvoří RNC, SGSN a GGSN. Model sítě je připojen k pevné internetové síti (*internet_01*), která obsahuje IP Telefon (*IP_VoIP*) a servery (EMAIL, HTTP, FTP). UE v průběhu simulace požaduje po síti služby hlasové (VoIP) a datové (FTP, HTTP, Email).

Cíl této simulace je znázornit jak ovlivní zvýšení nároků na přenosové pásmo a vůbec kapacitu sítě zpoždění přístupu ke službám – GPRS Attach Delay, PDP Context Activation Delay, Service Activation Delay. Zkoumat budu stejný model v prvním případě bez zajištění kvality služeb, v druhém případě se zajištěním.



Obr. 13: Schéma modelu sítě: bp_UMTS_sluzby_simultanne.prj.

b) Nastavení modelu sítě

V objektu *application config* nastavuji 4 služby (FTP, HTTP, Email a VoIP), následně pro všechny služby vytvořím profily a to v objektu *profile config*. Poté nastavuji jednotlivé

objekty samotné sítě – *UE, FTP server, HTTP server, Email server a IP telefon*, se kterým bude UE navazovat komunikaci prostřednictvím hlasové služby Voice over IP.

c) Podrobné nastavení jednotlivých prvků modelu

Nejprve popisují nastavení pro scénář bez podpory kvality služeb. Doplnění pro scénář s podporou QoS viz níže.

Application config: (nastavení jednotlivých aplikací pro simulace)

Nejprve nastavují prvky pro scénář bez podpory kvality služeb.

Aplikace FTP:

✓ Name: **ftp_app**

✓ Description: **FTP**

- Command Mix (Get/Total): **50%**
 - *Procentuelní poměr mezi příkazy pro download a upload.*
- Inter-Request Time (sec): **exponential (20)**
 - *Doba, která uplyne mezi dvěma příkazy odeslanými FTP serveru, v sekundách.*
- File Size (bytes): **constant (50000)**
 - *Průměrná velikost souboru, při nastavení na „constant“ má každý odeslaný soubor tuto konkrétní velikost.*
- Symbolic Server Name: **FTP Server**
 - *Symbolický název uzlu modelu sítě, se kterým klient komunikuje.*
- Type of Service: **Best Effort (0)**
 - *Parametr QoS, určuje prioritu provozu. Hodnota označuje Best Effort (0), tedy bez zajištění QoS.*

Aplikace HTTP:

✓ Name: **http_app**

✓ Description: **Http**

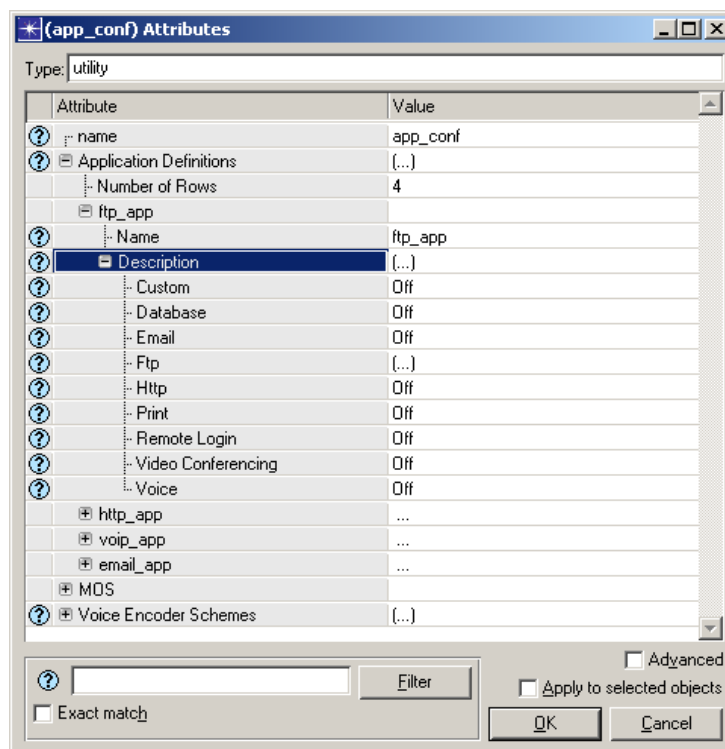
- HTTP Specification: **HTTP 1.1**
- Interarrival Time (sec): **exponential (20)**
 - *Doba, která uplyne mezi dvěma staženými stránkami.*
- Page properties: - *nastavují pro první dva řádky (řádek č.1/řádek č.2).*
 - Object size (bytes): **constant (2000) / Large Image**
 - > *Nastavení velikosti objektů.*
 - Number of objects (objects/page): **constant (1) / constant (7)**

- > *Počet objektů na jednu stránku.*
- Location: **HTTP Server / HTTP Server**
 - > *Symbolické jméno serveru (lokace).*
- Server Selection:
 - Initial Repeat Probability: **Browse**
 - > *Pravděpodobnost hustoty provozu „request-response“.*
 - Pages Per Server: **exponential (20)**
 - > *Poměr stažených stránek na jeden server.*
- Type of Service: **Best Effort (0)**
 - *Parametr QoS, určuje prioritu provozu. Hodnota označuje Best Effort (0), tedy bez zajištění QoS.*

- ✓ Name: **voip_app**
- ✓ Description: **Voice**
 - Symbolic Destination Name: **Voice Destination**
 - *Symbolický název cílového klienta.*
 - Encoder Scheme: **G.711**
 - *Typ kodéru.*
 - Voice Frames per Packet: **1**
 - *Počet dekódovaných hlasových rámců v jednom paketu.*
 - Type of Service: **Best Effort (0)**
 - *Parametr QoS, určuje prioritu provozu. Hodnota označuje Best Effort (0), tedy bez zajištění QoS.*
 - Compression Delay (sec): **0,02**
 - *Zpoždění na vrub komprese.*
 - Decompression Delay (sec): **0,02**
 - *Zpoždění na vrub dekomprese.*

Aplikace Email:

- ✓ Name: **email_app**
- ✓ Description: **Email**
 - Send Interarrival Time (sec): **exponential (360)**
 - Definuje kdy je odeslán další email.
 - Send Group Size: **constant (3)**
 - Definuje počet „čekajících emailů“, které budou odeslány.
 - Receive Interarrival Time (sec): **constant (360)**
 - Definuje čas, který uplyne mezi přijímáním dvou emailů.
 - Receive Group Size: **constant (3)**
 - Definuje počet „čekajících emailů“, které budou přijímány.
 - Email Size (bytes): **constant (2000)**
 - Průměrná velikost emailu v bytech.
 - Symbolic Destination Name: **Email Server**
 - Symbolický název serveru, který má být kontaktován aplikací email.
 - Type of Service: **Best Effort (0)**
 - Parametr QoS, určuje prioritu provozu. Hodnota označuje Best Effort (0), tedy bez zajištění QoS.



Obr. 14: Aplikací okno, editace vlastností modelového prvku Application Config.

Ještě zbývá doplnit, že pro scénář s podporou kvality služeb, jsem u jednotlivých aplikací nastavil třídy kvality služeb (*ToS – Type of Service*). Pro FTP je to „**Background (1)**“, pro HTTP – „**Standard (2)**“, pro VoIP – „**Interactive Voice (6)**“ a pro Email – „**Background (1)**“.

Profile config: (nastavení jednotlivých aplikací pro simulace)

Profil FTP:

- ✓ Name: **ftp_profile**
- ✓ Application:
 - Name: **ftp_app**
 - *Název aplikace.*
 - Star Time Offset (sec): **uniform (5,10)**
 - *Zpoždění začátku aplikace po začátku profilu, uniform => náhodný výběr hodnoty (v mém případě) mezi 5 a 10 sekundami.*
 - Duration (sec): **End of Profile**
 - *Délka trvání aplikace.*
 - Repeatability: **Unlimited**
 - *Opakování aplikace v průběhu profilu.*
- ✓ Operation Mode: **Simultaneous**
 - *Definuje jak bude aplikace začínat (simultánně s jinými aplikacemi, nebo postupně po/před dalšími aplikacemi, atd.).*
- ✓ Start Time (sec): **constant (120)**
 - *Definuje kdy bude v průběhu simulace začínat aktuální profil.*
- ✓ Duration (sec): **End of Simulation**
 - *Trvání profilu.*
- ✓ Repeatability: **Once at Start Time**
 - *Opakování profilu v průběhu simulace.*

Profil HTTP:

Oproti profilu FTP se liší pouze v proměnné „*Start Time (sec)*“ a „*Name*“.

- ✓ Name: **http_profile**
- ✓ Start Time (sec): **constant (100)**

Profil VoIP:

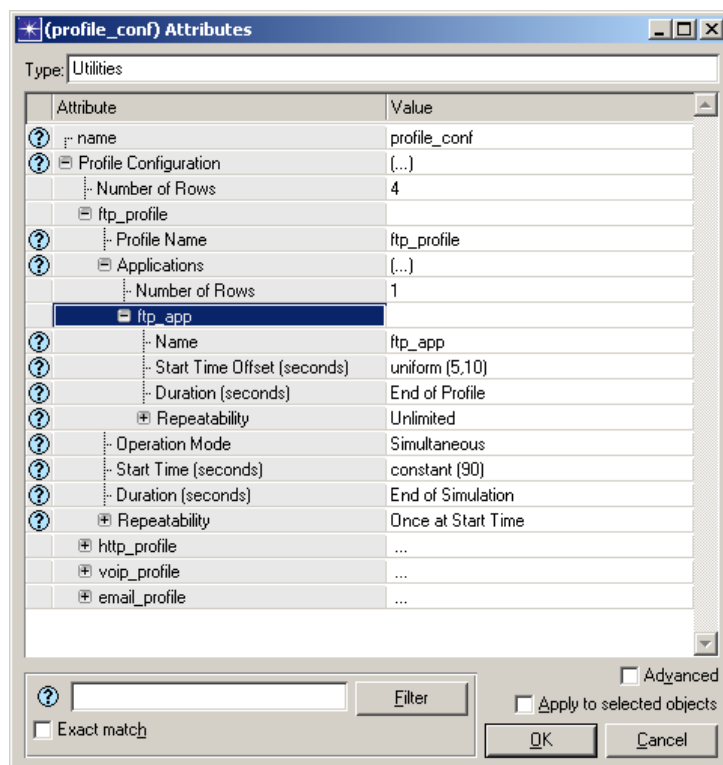
Oproti profilu FTP se liší pouze v proměnné „*Start Time (sec)*“ a „*Name*“.

- ✓ Name: **voip_profile**
- ✓ Start Time (sec): **constant (100)**

Profil Email:

Oproti profilu FTP se liší pouze v proměnné „*Start Time (sec)*“ a „*Name*“.

- ✓ Name: **email_profile**
- ✓ Start Time (sec): **constant (180)**

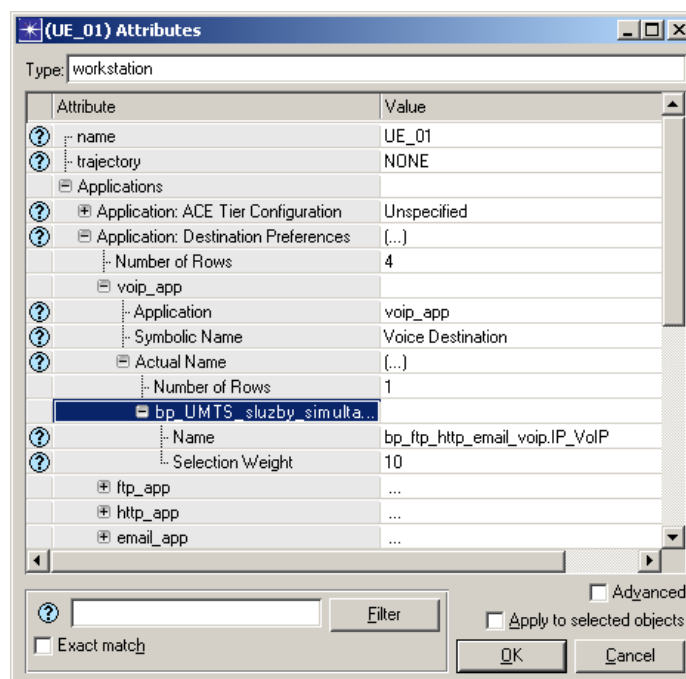


Obr. 15: Aplikační okno, editace vlastností modelového prvku Profile Config.

Nastavení UE:

- ✓ Name: **UE_01**
- ✓ Destination Preferences:
 - Application: **voip_app**
 - > *Název aplikace.*
 - Symbolic Name: **Voice Destination**
 - > *Symbolický název vzdáleného serveru.*
 - Actual Name: **bp_UMTS_sluzby_simultanne.IP_VoIP**
 - > *Přesný název vzdáleného serveru.*
 - Application: **ftp_app**
 - > *Název aplikace.*

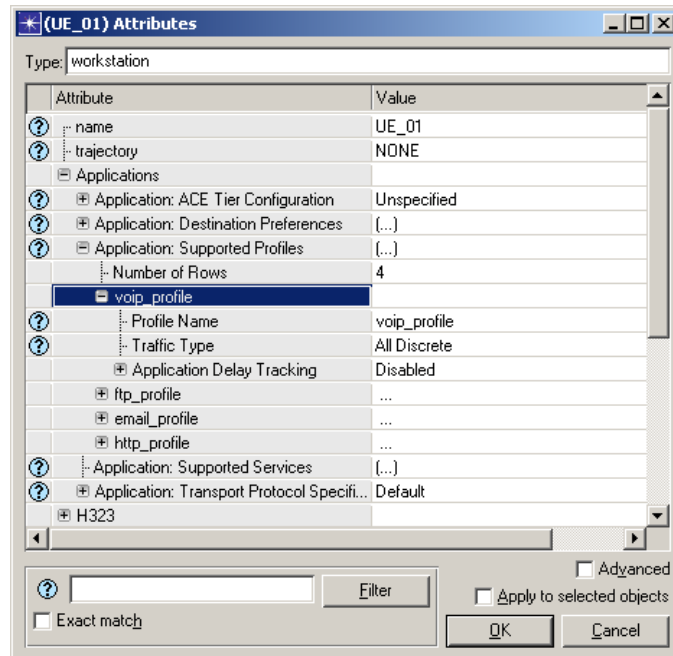
- Symbolic Name: **FTP Server**
 - > *Symbolický název vzdáleného serveru.*
- Actual Name: **bp_UMTS_sluzby_simultanne.FTP Server**
 - > *Přesný název vzdáleného serveru.*
- Application: **http_app**
 - > *Název aplikace.*
- Symbolic Name: **HTTP Server**
 - > *Symbolický název vzdáleného serveru.*
- Actual Name: **bp_UMTS_sluzby_simultanne.HTTP Server**
 - > *Přesný název vzdáleného serveru.*
- Application: **email_app**
 - > *Název aplikace.*
- Symbolic Name: **Email Server**
 - > *Symbolický název vzdáleného serveru.*
- Actual Name: **bp_UMTS_sluzby_simultanne.Email Server**
 - > *Přesný název vzdáleného serveru.*



Obr. 16: Aplikační okno, editace vlastností prvku UE (destination preferences).

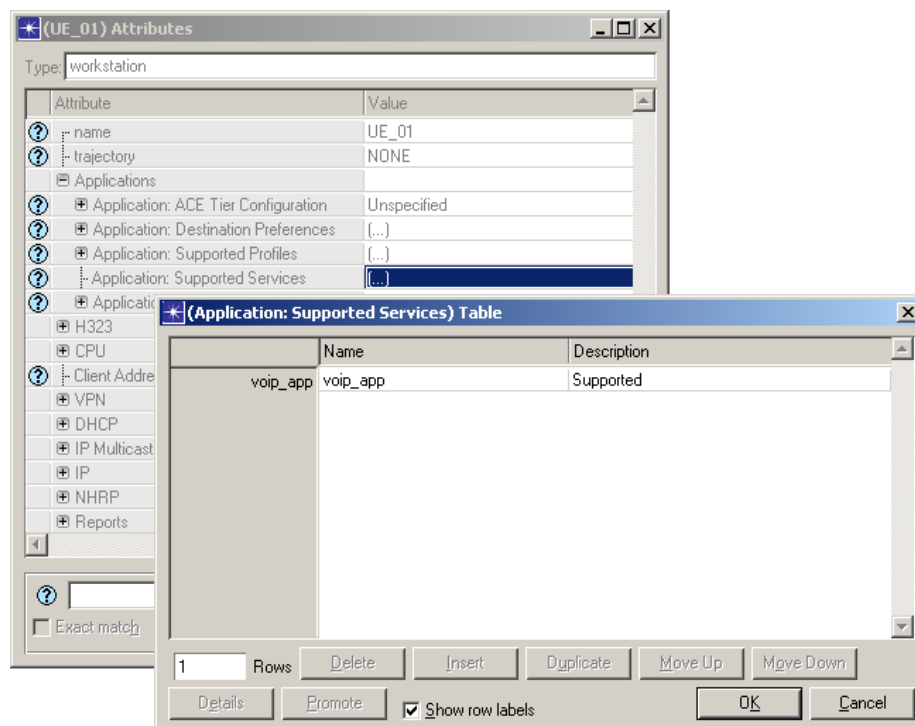
- ✓ Supported Profiles:
 - Profile Name: **voip_profile**
 - *Název profilu.*
 - Profile Name: **ftp_profile**

- *Název profilu.*
- Profile Name: **http_profile**
 - *Název profilu.*
- Profile Name: **email_profile**
 - *Název profilu.*



Obr. 17: Aplikační okno, editace vlastností modelového prvku UE (Supported Profiles).

- ✓ Supported Services:
 - Name: **voip_profile**
 - *Název služby povolené na serveru.*
 - Decription: **Supported**
 - *Služba je na serveru podporována.*



Obr. 18: Aplikační okno, editace vlastností modelového prvku UE (Supported Services).

Obdobně nastavíme i jednotlivé servery.

d) Průběh simulace

Scénář: bez podpory kvality služeb

- 1) UE vysílá ve 100. vteřině simulace požadavek na službu VoIP. Uživatel tedy přijal / zahájil hovor prostřednictvím služby VoIP. Zároveň žádá o službu HTTP, tedy uživatel zadal adresu do svého webového prohlížeče a odeslal. Na základě těchto žádostí bude vyjednán PDP kontext.
- 2) První hodnoty zpoždění GPRS Attach pozorujeme ve vteřině 101. O vteřinu později pozorujeme první hodnotu zpoždění aktivace PDP kontextu (0,88s), PDP kontext byl vyjednán, služby mohou zahájit přenos dat.
- 3) Ve vteřině 119. je PDP kontext upraven pro službu FTP. Nepozorujeme zpoždění aktivace PDP kontextu, protože není vytvářen nový PDP kontextu, PDP adresa, NSAPI, APN, RAB (Radio Access Bearer) i GPT tunel zůstávají stejné. Zvýší se jen velikost požadovaného datového toku – nemusí být dodržen (není aktivováno QoS).
- 4) Ve 120. vteřině již služba FTP může přenášet první data.
- 5) Ve 180. vteřině žádá UE službu EMAIL, PDP kontext opět zůstává stejný. Zároveň je vidět drobný výkyv v hodnotách Jitteru (variace ve zpoždění paketů),

viz Obr. 21. Díky přibývajícím službám a nárokům na síť, lehce kolísá zpoždění služeb již běžících, ovšem jedná se jen o pár ojedinělých hodnot.

- 6) Po požadavku na FTP spojení běží všechny čtyři služby souběžně až do konce simulace (10min).

Scénář: *s podporou kvality služeb*

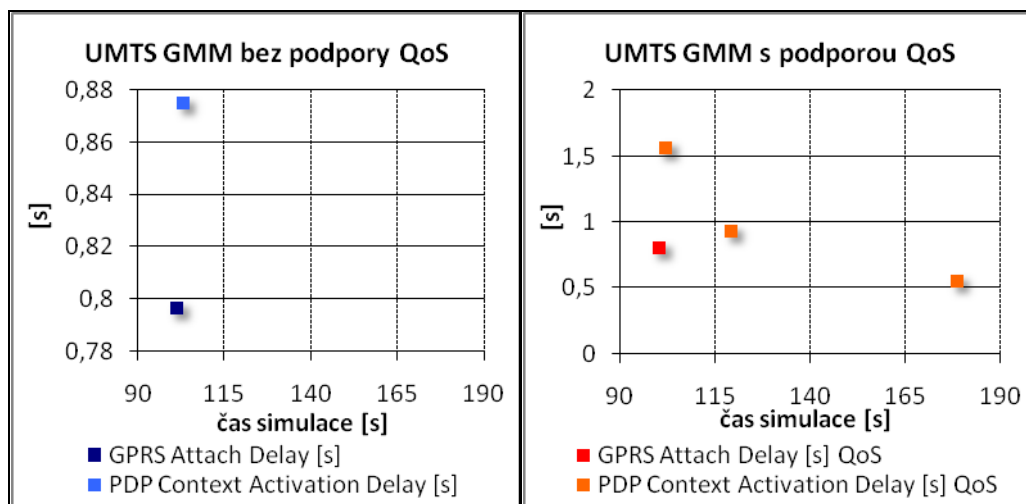
- 1) UE vysílá ve 100. vteřině simulace požadavek na službu VoIP. Uživatel tedy přijal / zahájil hovor prostřednictvím služby VoIP. Zároveň žádá o službu HTTP, tedy uživatel zadal adresu do svého webového prohlížeče a odeslal. Na základě těchto žádostí bude vyjednáán PDP kontext. V tom samém okamžiku je sjednán GPRS Attach se zpožděním 0,80s.
- 2) Ve vteřině 101. pozorujeme první hodnotu zpoždění aktivace PDP kontextu (1,56s). PDP kontext byl vyjednáán pro služby VoIP a HTTP, nastaven je pro dvě třídy QoS – Interactive Voice (6) a Standard (2), tedy byl aktivován primární PDP kontext a sekundární, primární pro první požadovanou službu sekundární pro druhou požadovanou. Služby mohou zahájit přenos dat.
- 3) Ve vteřině 119. je přidán druhý sekundární PDP kontext pro službu FTP třída QoS je nastavena na Background (1).
- 4) Ve 120. vteřině již služba FTP může přenášet první data.
- 5) Ve 179. je vytvořen třetí sekundární PDP kontext se zpožděním (0,56s) pro službu EMAIL, třída QoS je nastavena na Background (1). Zároveň je vidět drobný výkyv v hodnotách Jitteru (variace ve zpoždění paketů), viz Obr. 21. Přibývajícím nárokům na síť, způsobují lehký rozkmit hodnot zpoždění přístupu ke službám.
- 6) Po požadavku na FTP spojení běží všechny čtyři služby souběžně až do konce simulace (600. vteřina).

e) Shrnutí výsledků

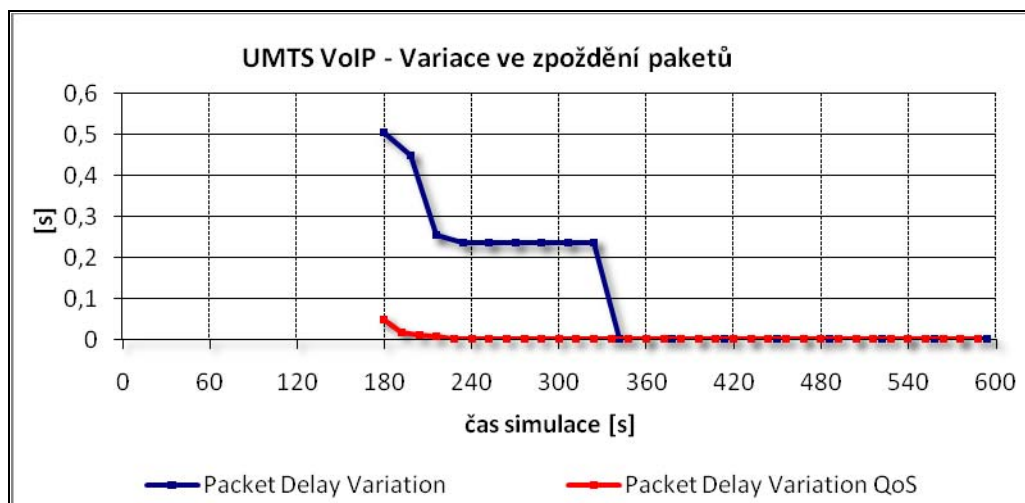
Tato simulace se zaměřuje na porovnání chování sítě s nastavenou podporou kvality služeb a bez ní při postupném zvyšování zátěže. Jediný uživatel žádá od sítě nejprve službu VoIP a spolu s ní službu HTTP, síť s UE sjednává GPRS Attach a vyjednává PDP kontext, na konkrétní požadavek uživatele, v tomto bodě se scénáře začínají lišit. Ve scénáři se

zabudovanou podporou kvality služeb síť s UE vyjednává pokud možno co nejlepší podmínky pro každou z požadovaných služeb. Kdežto ve scénáři bez podpory kvality služeb síť s UE sjednává jen všeobecné podmínky pro přenos dat, nevyjednávají spolu podmínky pro přenos konkrétního typu dat. V průběhu simulace přibývá služeb. Pro scénář bez zajištění kvality služeb to znamená, že se zvětšuje objem dat, který má být přenesen, není však diferencován na typy dat a proto aplikace VoIP nemůže přenášet data s potřebnou rychlostí, musí tedy přistoupit k výraznému snížení kvality přenášeného hlasu. Navíc v průběhu hovorů vznikají výrazné propady v rychlosti přenášených dat (tato skutečnost by mohla v nejhorším případě vést i ke ztrátě spojení mezi volajícími), viz *Obr. 22*. Pro scénář s podporou QoS znamenají přibývající služby, nutnost založení přídatných (tzv. sekundárních) PDP kontextů, které nesou informace o třídách QoS pro jednotlivé aplikace. Hodnoty zpoždění aktivace PDP kontextů ukazují, že nové aktivace byly vyžádány vždy těsně před spuštěním nové služby, viz *Obr. 19*.

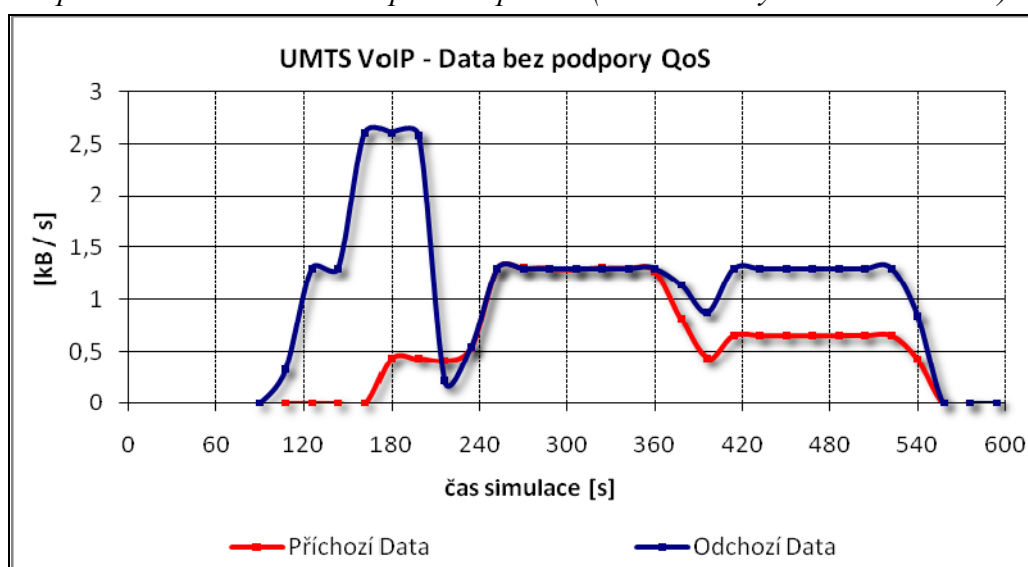
Kvalita služeb znamená pomalejší přenos dat pro služby s nižšími třídami QoS, avšak službám s vyššími třídami jako službě VoIP to přináší požadovanou stabilitu, viz *Obr. 23*.



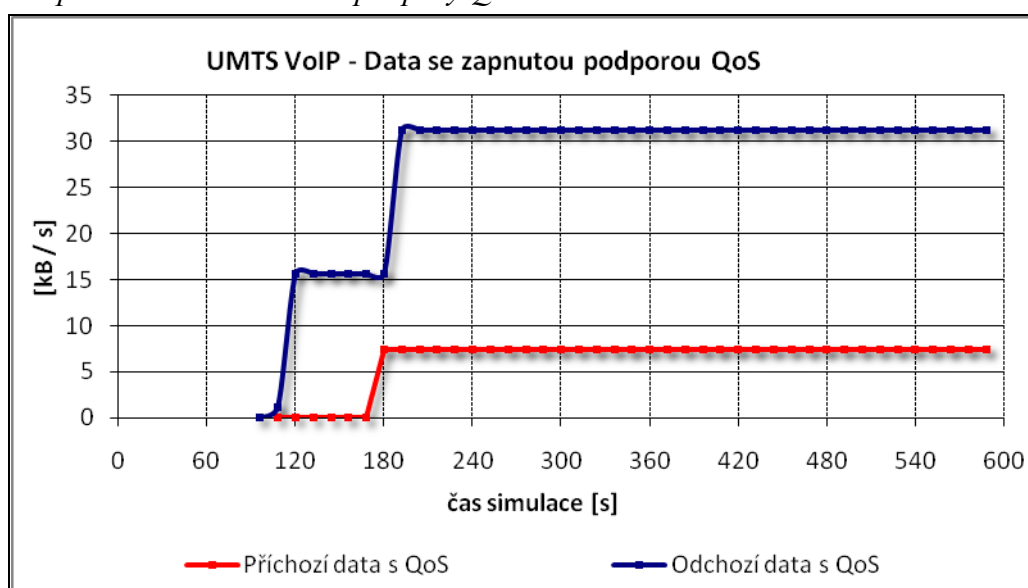
Obr. 19 a 20: Závislost zpoždění vyjednávání PDP kontextu a GPRS Attach.



Obr. 21: Aplikace VoIP Variace ve zpoždění paketů (Packet Delay Variation - Jitter).



Obr. 22: Aplikace VoIP Data bez podpory QoS.



Obr. 23: Aplikace VoIP Data s podporou QoS.

5.1.2 Pozorování zpoždění přístupu ke službám při přechodu mezi buňkami sítě (soft handover a hard handover)

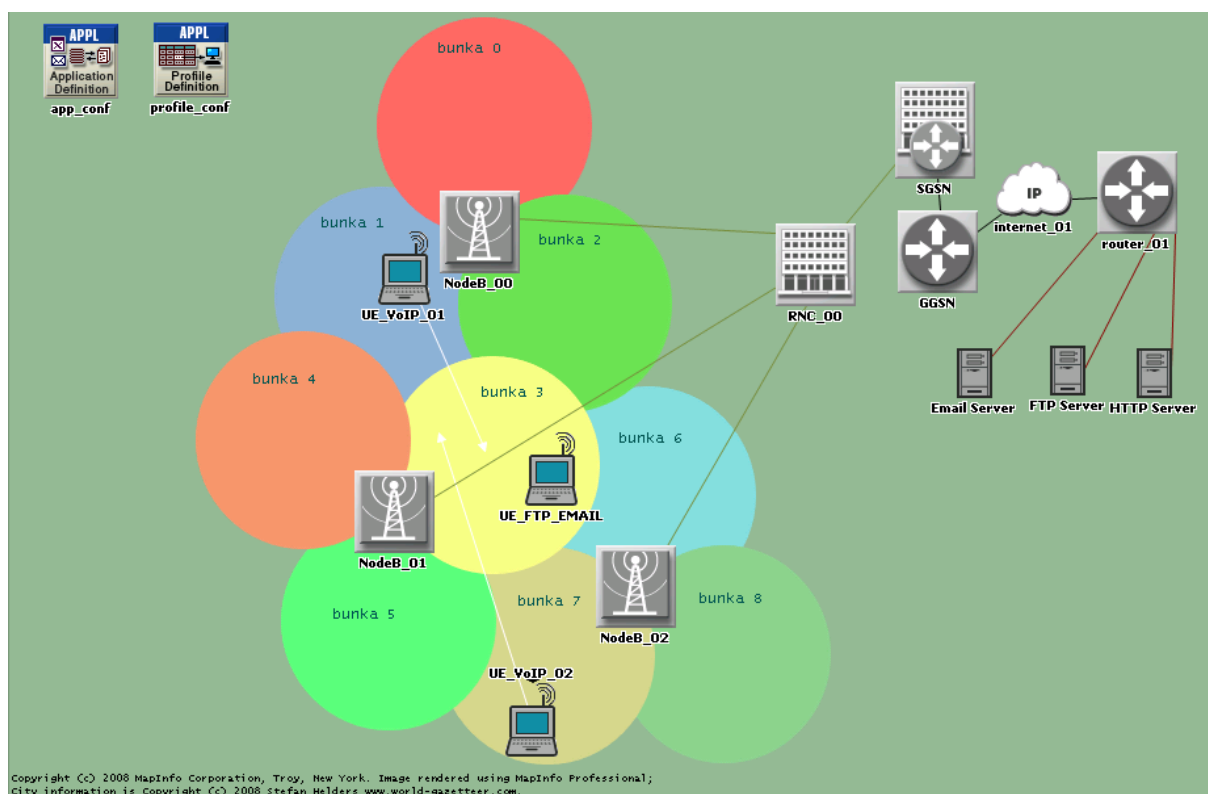
Projekt: *bp_UMTS_handover.prj*

Scénář: *soft_handover vs. hard_handover*

a) Návrh modelu sítě

UTRAN modelu sítě UMTS se pro tuto simulaci skládá ze tří základnových stanic (NodeB) jednoho RNC a tří účastníků (UE). K jádru sítě UMTS je připojena pevná IP síť, v tomto případě *internet_01*. IP síť obsahuje tři servery, každý poskytuje jednu službu (Email, FTP, http).

Cílem simulace je znázornění změn hodnot *GPRS Attach Delay* (zpoždění při vyjednávání připojení UE do sítě), *PDP Context Activation Delay* (zpoždění při prvním vyjednání PDP kontextu), *Service Activation Delay* (zpoždění přístupu ke službám) v závislosti na změně hodnoty *Cells Added to Active Set* a *Cells Removed from Active Set* (počet buněk přidávaných do listu UE a počet buněk odebraných z tohoto listu).



Obr. 24: Schéma modelu sítě: *bp_UMTS_handover.prj*.

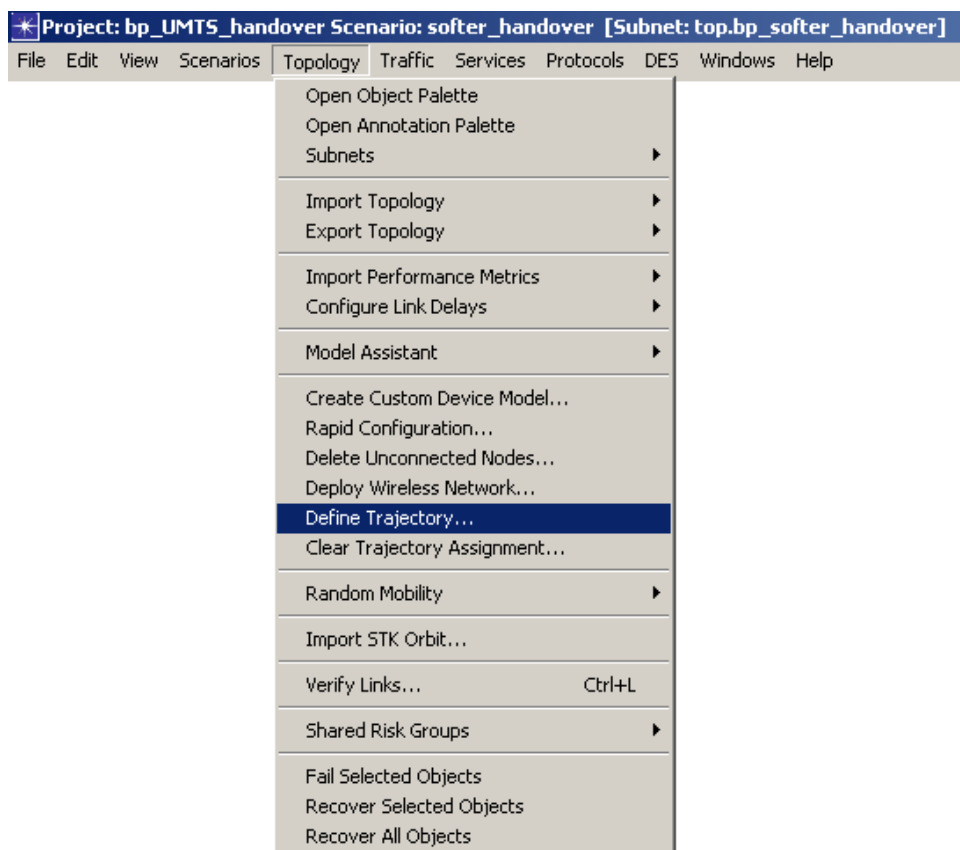
b) Nastavení modelu sítě

Application Config a *Profile Config* obsahují nastavení pro služby (FTP, HTTP, EMAIL a VoIP) s adekvátními profily. *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* mají definovány trajektorie. V průběhu simulace obě UE postupně prochází skrz model sítě každá v opačném směru. *UE_FTP_EMAIL* je statický uživatel v buňce č. 3, po síti požaduje službu přenosu souborů – FTP nastavenou na „high-load“, tedy na vysoké vytížení a službu EMAIL nastavenou stejně jako v první simulaci. Začátky profilů jsou nastaveny následovně: FTP profil – **constant (200)**, HTTP profil – **constant (260)**, VoIP profil – **constant (150)**, EMAIL – **constant (120)**.

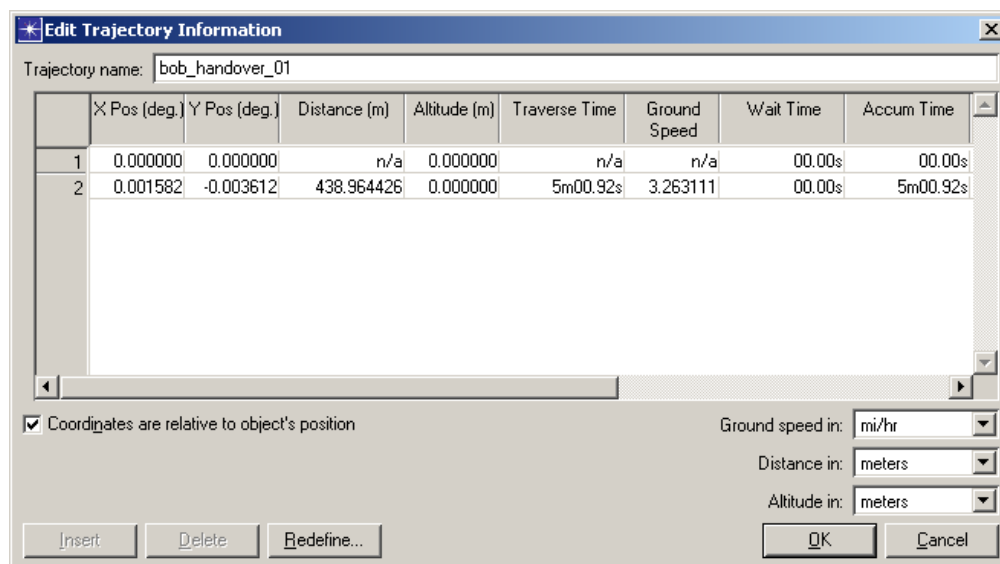
c) Podrobné nastavení jednotlivých prvků modelu sítě

UE: (oproti předešlému projektu se nastavení liší pouze u uživatelských stanic)

Dvě stanice se v průběhu simulace pohybují, tento pohyb musí být OPNET Modeleru nadefinován, k tomu slouží soubory trajektorií. Takovýto soubor vytvoříme pomocí menu „Topology“ -> „Define Trajectory...“.



Obr. 25: Definování trajektorií, menu OPNET Modeler.



Obr. 26: Editace trajektorie, OPNET Modeler.

d) Průběh simulace

Scénář: *soft_handover*

- 1) Na začátku simulace se účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* začínají pohybovat, *UE_FTP_EMAIL* setrvává po celou dobu simulace statický. *UE_VoIP_01* přijímá nejsilnější signály od buněk ID 1 a ID 2 (NodeB_00), jsou přidány do seznamu aktivních buněk. *UE_VoIP_02* přijímá nejsilnější signál od buňky ID 7 (NodeB_02), přidává ji do svého seznamu aktivních buněk.
- 2) Účastník *UE_FTP_EMAIL* ve 118. vteřině přidává do svého seznamu aktivních buněk buňku ID 3, v grafu (viz Obr. 35) je znázorněno srovnání hladin přijímaných signálů z buněk ID 3 a ID 5. ID 3 v čase $t = 121s$ má hladinu signálu $E_c/N_0 = 44,16dB$.
- 3) PDP kontext je poprvé aktivován ve 119. vteřině. V grafu (viz Obr. 30) můžeme vidět, že hodnota zpoždění aktivace je rovna 0,635s. Context je vyjednáán pro službu EMAIL účastníka *UE_FTP_EMAIL*, třída QoS je nastavena na Background (1).
- 4) Ve vteřině 120. *UE_FTP_EMAIL* službu EMAIL spouští, sítí prochází data.
- 5) Druhá změna zpoždění aktivace PDP kontextu je spojena se 154. vteřinou, účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* vyjednávají kontext pro své hlasové služby. Třída QoS je zde nastavena na Interactive Voice (6), .

- 6) O dvě vteřiny později (156. vteřina) je služba VoIP spuštěna a začínají proudit data, účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* mezi sebou zahajují hovor.
- 7) Ve 200. vteřině zaznamenávám zpoždění GPRS Attach, *UE_VoIP_01* přidává do svého seznamu aktivních buněk buňku ID 3 (NodeB_00), $E_c/N_o = 40,49\text{dB}$. Zároveň vyřazuje buňku ID 2 (NodeB_00). *UE_VoIP_02* přidává do svého seznamu buňku ID 5 (NodeB_01), $E_c/N_o = 44,41\text{dB}$.
- 8) Za další dvě vteřiny (202.) se objevuje zpoždění aktivace PDP kontextu, účastník *UE_FTP_EMAIL* žádá o službu FTP, s třídou QoS Background (1).
- 9) PDP kontext je vyjednáán a ve vteřině 204. *UE_FTP_EMAIL* službu FTP spouští, sítí proudí data.
- 10) 209. vteřina, *UE_VoIP_01* vyřazuje ze svého seznamu aktivních buněk buňku ID 1 (NodeB_00), účastník se vzdaluje od buňky ID 1 a ustaluje se v buňce ID 3 (NodeB_01).
- 11) V 239. vteřině *UE_VoIP_02* ze svého seznamu aktivních buněk, vyřazuje buňku ID 7, ukončuje tak soft handover mezi buňkami ID 5 (NodeB_01) a ID 7 (NodeB_02).
- 12) Ve vteřině 263. zaznamenávám další změnu zpoždění aktivace PDP kontextu, účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* žádají o službu HTTP.
- 13) PDP kontexty jsou vyjednány a služba HTTP může být zahájena ve 264. Vteřině s třídou QoS Standard (2).
- 14) Ve vteřině 342. přidává *UE_VoIP_02* do svého seznamu buňku ID 3, zahajuje tak soft handover mezi buňkami ID 5 (NodeB_01) a ID 3 (NodeB_00), po dobu 53 vteřin bude odesílat data přes dva NodeB, ty však budou duplikáty zahazovat. RNC přijímá data již nezdvojená.
- 15) Vteřina 395. a *UE_VoIP_02* vyřazuje buňku ID 5 (NodeB_01), ukončuje tak proceduru soft handover. A setrvává na území pokrytém signálem buňky ID 3 (NodeB_00).
- 16) 711. vteřina, do seznamu aktivních buněk *UE_VoIP_01* je přidána ještě jedna buňka – ID 6 (NodeB_02), ale o dvě vteřiny později je odebrána, buňka ID 3 (NodeB_00) má signál silnější a stabilní.

- 17) Simulace končí po uplynutí doby 20-ti minut, všechny služby jsou zastaveny, PDP kontexty uvolněny, síť je vypnuta.

Scénář: *hard_handover*

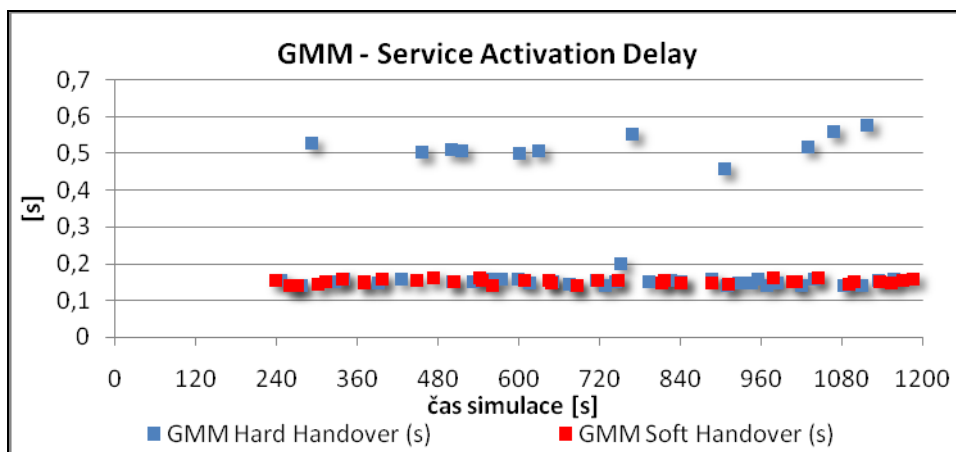
Scénář *hard_handover* je stejný jako předchozí scénář, liší se v nastavení objektu RNC. V tomto scénáři RNC nepodporuje soft handover.

- 1) Na začátku simulace se účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* začínají pohybovat, *UE_FTP_EMAIL* setrvává po celou dobu simulace statický. *UE_VoIP_01* přijímá nejsilnější signál od buňky ID 1 (NodeB_00), a zařazuje ji do seznamu aktivních buněk. *UE_VoIP_02* přijímá nejsilnější signál od buňky ID 7 (NodeB_02), přidává ji do svého seznamu aktivních buněk.
- 2) *UE_FTP_EMAIL* ve 118. vteřině přidává do svého seznamu aktivních buněk buňku ID 3 (NodeB_01), v grafu (viz Obr. 35) je znázorněna hladina přijímaného signálu od buňky ID 3 (NodeB_01). ID 3 v čase $t = 121s$ má hladinu signálu $E_c/N_0 = 43,15dB$.
- 3) PDP kontext je poprvé aktivován ve 119. vteřině. V grafu (viz Obr. 36) můžeme vidět, že hodnota zpoždění aktivace je rovna 1,415s. Context je vyjednáán pro službu EMAIL účastníka *UE_FTP_EMAIL*, třída QoS je nastavena na Background (1).
- 4) Ve vteřině 120. *UE_FTP_EMAIL* službu EMAIL spouští, sítí prochází data.
- 5) Druhá změna zpoždění aktivace PDP kontextu je spojena se 153. vteřinou, účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* vyjednávají kontext pro své hlasové služby. Třída QoS je zde nastavena na Interactive Voice (6), hodnoty jsou: pro *UE_VoIP_01* je zpoždění rovno 1,33s a pro *UE_VoIP_02* je zpoždění rovno 1,41s.
- 6) O tři vteřiny později (156. vteřina) je služba VoIP spuštěna a začínají proudit data, účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* mezi sebou zahajují hovor.
- 7) Ve 198. vteřině zaznamenávám zpoždění GPRS Attach, *UE_VoIP_01* přidává do svého seznamu aktivních buněk buňku ID 3 (NodeB_00), $E_c/N_0 = 39,12dB$. Zároveň vyřazuje buňku ID 1 (NodeB_00).
- 8) Za další dvě vteřiny (202.) se objevuje zpoždění aktivace PDP kontextu (0,94s), účastník *UE_FTP_EMAIL* žádá o službu FTP, s třídou QoS Background (1).

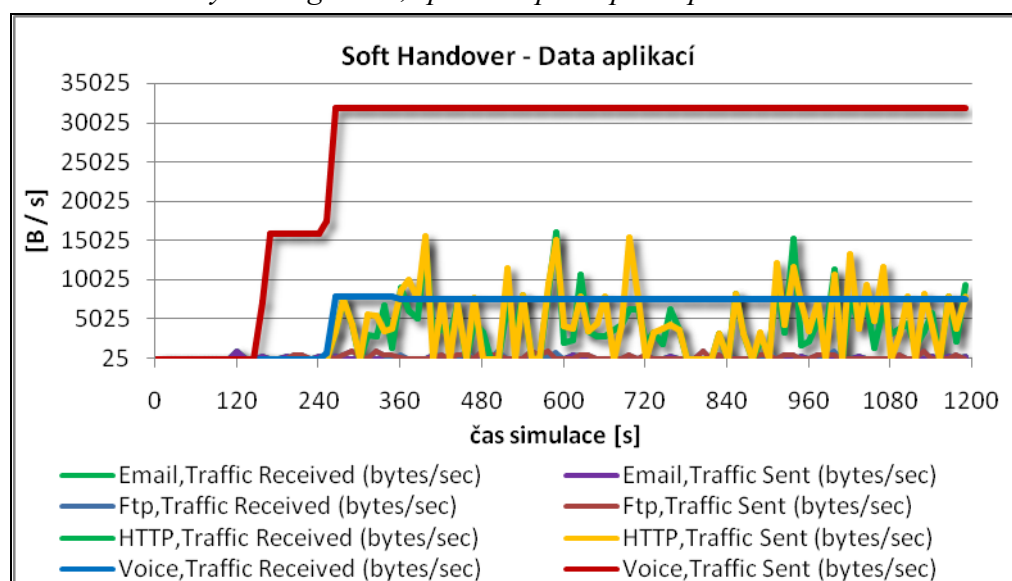
- 9) PDP kontext je vyjednáán a ve vteřině 204. *UE_FTP_EMAIL* službu FTP spouští, síť proudí data.
- 10) V 234. vteřině *UE_VoIP_02* do svého seznamu aktivních buněk přidává buňku ID 5 (NodeB_01) a zároveň vyřazuje buňku ID 7 (NodeB_02).
- 11) Ve vteřině 263. zaznamenávám další změnu zpoždění aktivace PDP kontextu, účastníci *UE_VoIP_01* a *UE_VoIP_02* žádají o službu http, zpoždění je u *UE_VoIP_01* rovno 0,52s a u *UE_VoIP_02* je rovno 0,84s.
- 12) PDP kontexty jsou vyjednáány a služba HTTP může být zahájena ve 264. vteřině s třídou QoS Standard (2).
- 13) Ve vteřině 342. přidává *UE_VoIP_02* do svého seznamu buňku ID 3 (NodeB_00) a odebírá buňku ID 5 (NodeB_01).
- 14) Simulace končí po uplynutí doby 20-ti minut, všechny služby jsou zastaveny, PDP kontexty uvolněny, síť je vypnuta.

e) Shrnutí výsledků

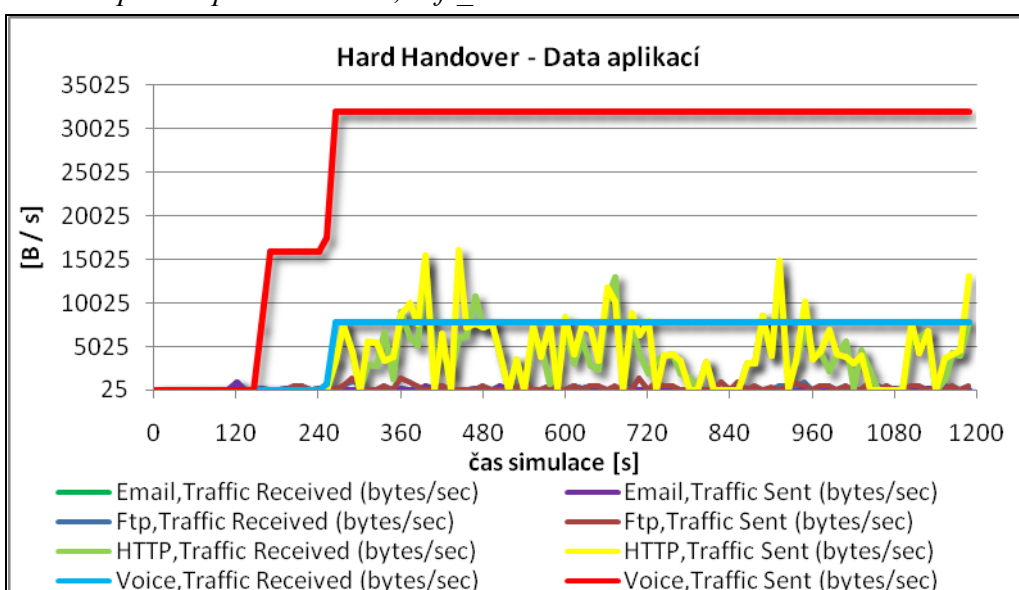
V druhé simulaci se zaměřuji na porovnání zpoždění přístupu k aplikacím v závislosti na podporovaném / nepodporovaném soft handoveru. Respektive v prvním scénáři této simulace je nastavena podpora soft handoveru a v druhém scénáři je nastaven hard handover. V grafu (*Obr. 27*) je dobře patrné, že při proceduře hard handover jsou maximální hodnoty zpoždění přístupu k aplikacím o několik desetin vteřiny vyšší než maximální hodnoty u procedury soft handover. Další grafy (*Obr. 28* a *Obr. 29*) znázorňují, že data procházející sítí jsou pro oba scénáře srovnatelná, tedy i zatížení sítě. Účastníci se pohybují stejně v obou scénářích, tedy rozdíly hodnot zpoždění přístupu k aplikacím jsou závislé pouze na typu procedury handover.



Obr. 27: GPRS Mobility Management, zpoždění přístupu k aplikacím.

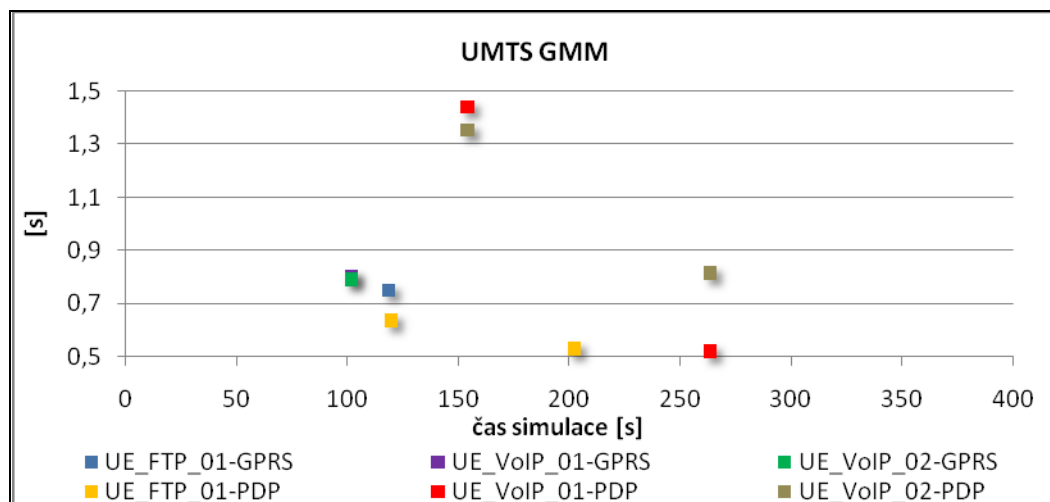


Obr. 28: Data aplikací přenášená sítí, soft_handover.

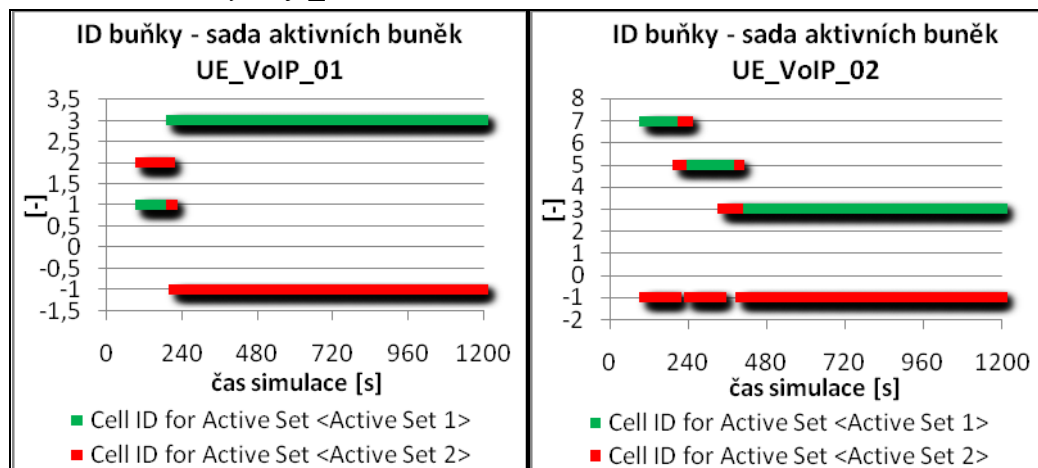


Obr. 29: Data aplikací přenášená sítí, hard_handover.

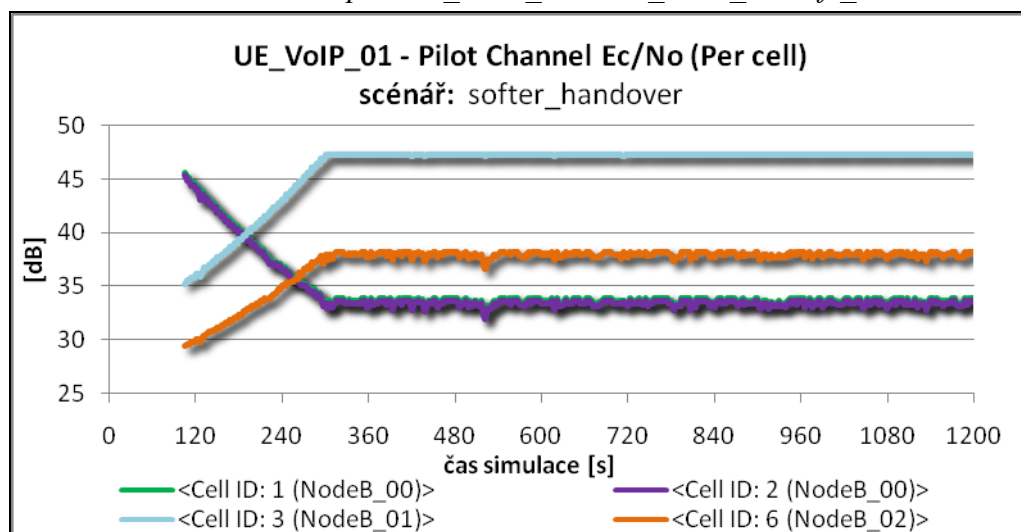
Scénář: *soft_handover*



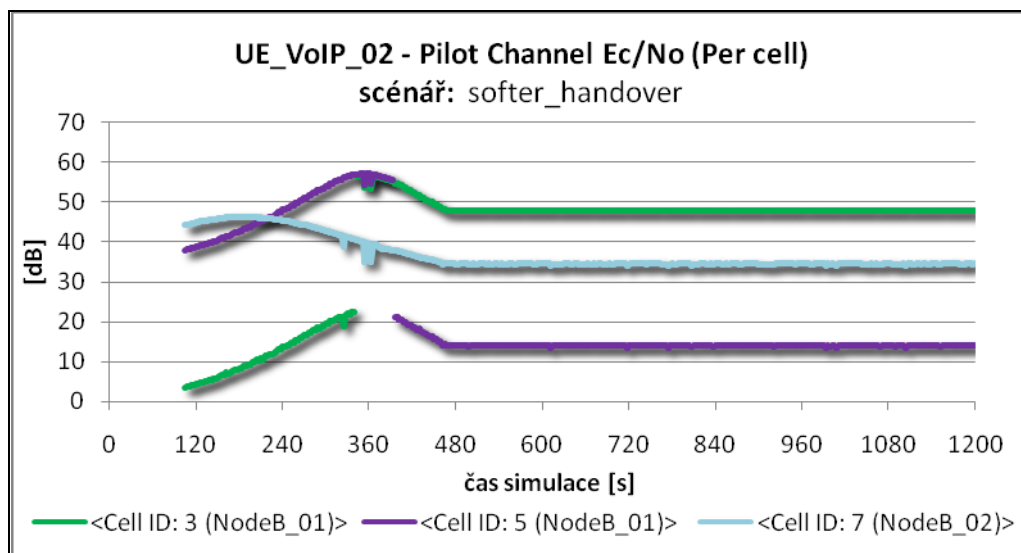
Obr. 30: UMTS GPRS Mobility Management, GPRS = GPRS Attach Delay, PDP = PDP Context Activation Delay, *soft_handover*.



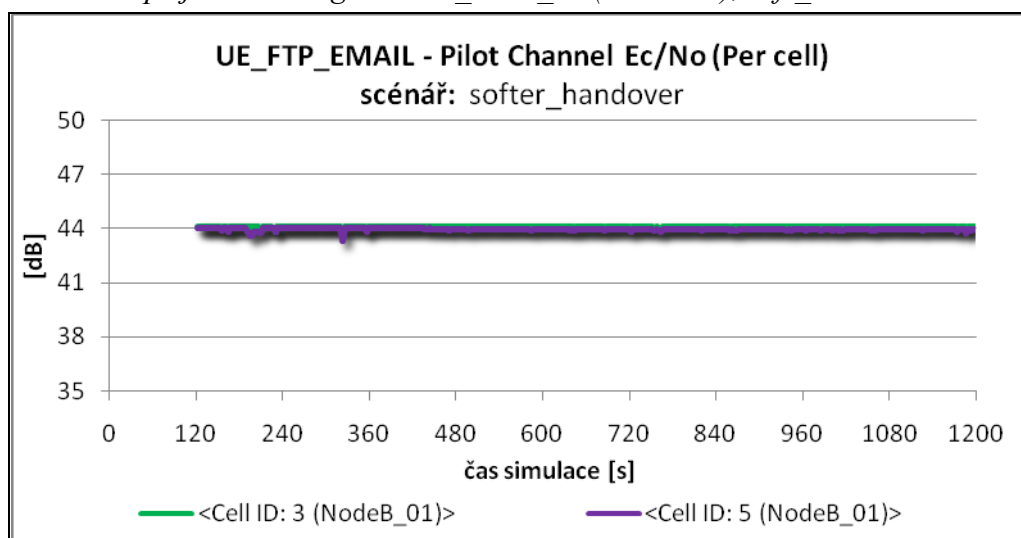
Obr. 31 a 32: ID aktivních buněk pro UE_VoIP_01 a UE_VoIP_02, *soft_handover*.



Obr. 33: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_01 (na buňku), *soft_handover*.

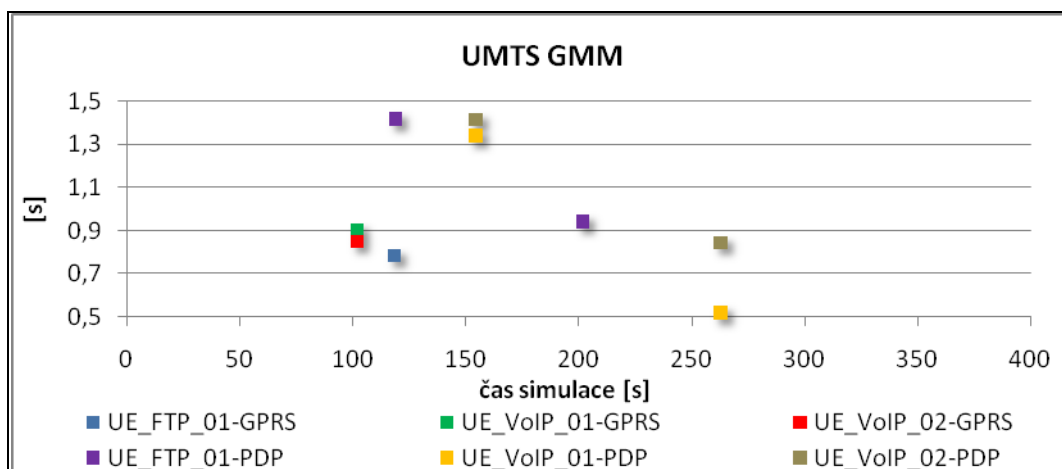


Obr. 34: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_02 (na buňku), soft_handover.

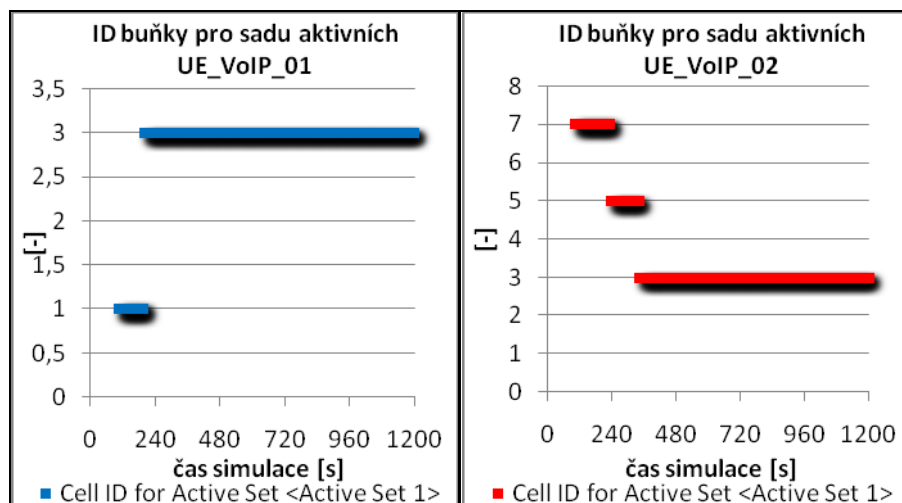


Obr. 35: Hladina přijímaného signálu UE_FTP_EMAIL (na buňku), soft_handover.

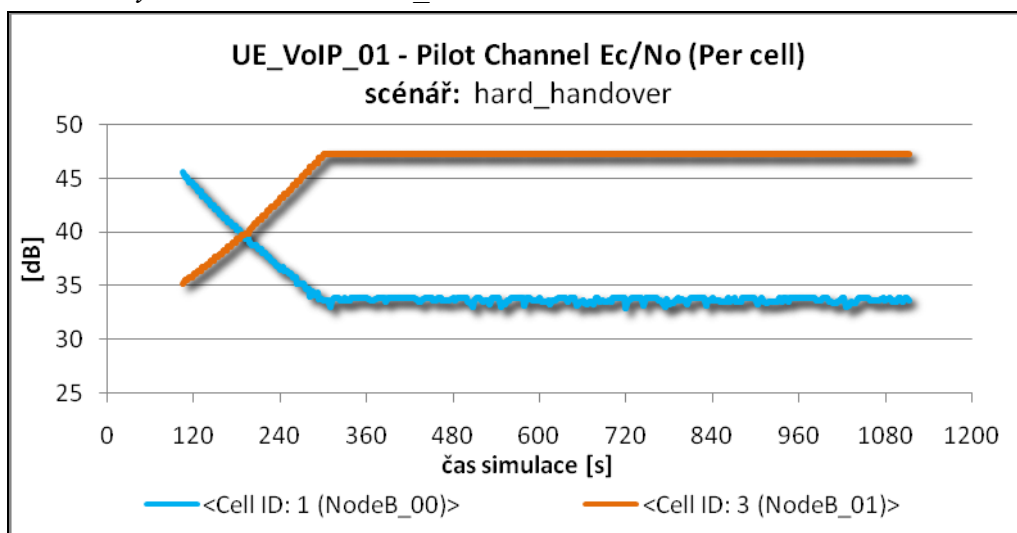
Scénář: hard_handover



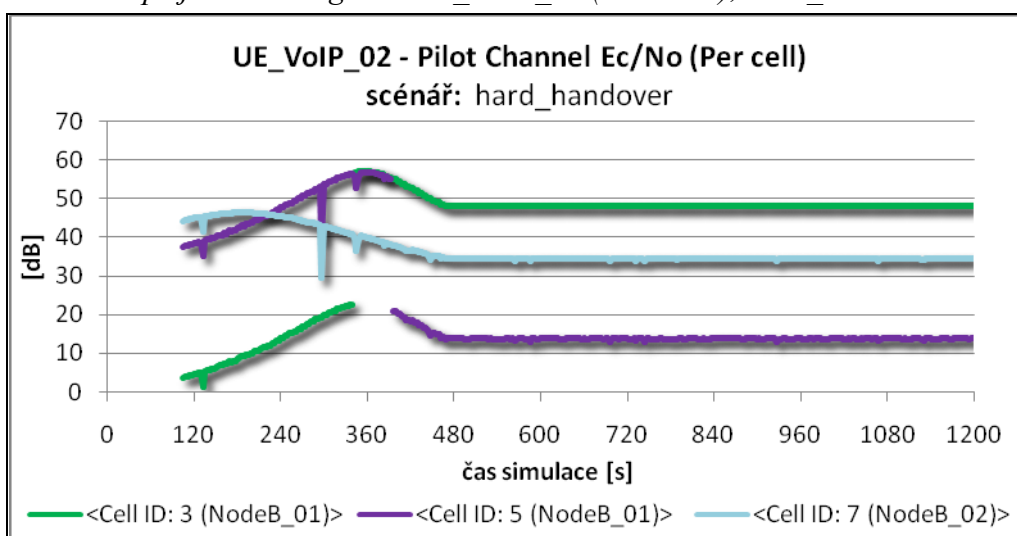
Obr. 36: UMTS GPRS Mobility Management, hard_handover.



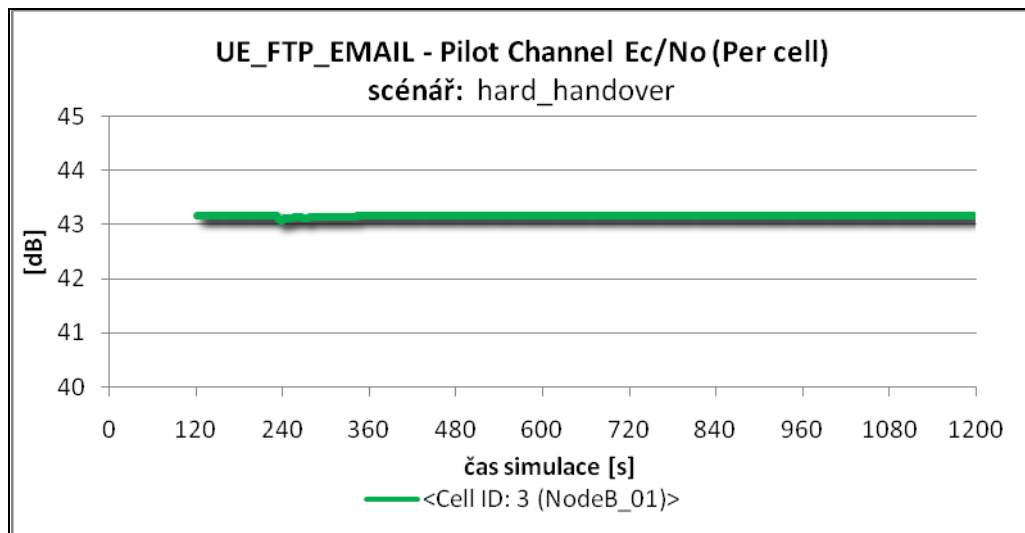
Obr. 37: ID Buňky v aktivní sadě, *hard_handover*.



Obr. 38: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_01 (na buňku), *hard_handover*.



Obr. 39: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_02 (na buňku), *hard_handover*.



Obr. 40: Hladina přijímaného signálu UE_FTP_EMAIL(na buňku), hard_handover.

6 ZÁVĚR

Mobilní systémy a technologie se vyvíjejí v mílových krocích, podobně jako celý obor IT. Když přišly na svět první mobilní telefony a první mobilní sítě, asi málokdo by věřil že ani ne za půl století budeme schopni sledovat a slyšet, co dělá jiný člověk na druhé straně planety a mít možnost s ním komunikovat v reálném čase. Nebo sledovat televizi na obrazovce mobilního přístroje, poslouchat internetová rádia, stahovat si oblíbená videa, či je přímo sledovat z internetového serveru. S rozvojem přichází ruku v ruce nové problémy a hádanky k vyřešení. Jedním z nejdiskutovanějších problémů je zajištění kvality služeb v paketově spínaných sítích. PS sítě nebyly navrženy pro podporu kvality služeb. Byly vytvořeny, aby splnili touhu přenášet obecná data sítí s co nejvyšší mírou využití síťových zdrojů. Ovšem díky jejich nesporným kvalitám, mimo jiné co do rychlosti přenosu a možností zabezpečení dat, vznikla snaha využít tento typ sítě i pro potřeby klasických telekomunikačních sítí (telefonní hovory). S postupem času a vývojem nových internetových technologií se zrodila potřeba přenášet obraz a zvuk v reálném čase (video stream, internetová televize) nebo jen zvuk (např. internetová rádia, či streamování oblíbených písní přímo z hudebního serveru). S příchodem technologií 3G se potřeba zajištění kvality služeb ještě zvyšuje. Rádiová síť má výrazně vyšší hodnoty ztrát paketů při přenosu. Jednoduše je to proto, že rádiové prostředí je výrazně náchylnější k interferencím než kabelové rozvody.

Problematikou zajištění kvality služeb jsem se zabýval v první simulaci v prostředí OPNET Modeler. Tato simulace je zaměřena na dva modely sítě UMTS, první s podporou kvality služeb a druhý bez ní. Porovnává schopnosti modelů vypořádat se s přenosem různých typů dat, se kterými se dnes nejčastěji setkáme v sítích třetích generací. Jsou to: plane data (**FTP**, **EMAIL**, **HTTP**) a data závislá na zpoždění a jeho změnách (**VoIP**). Z výsledků simulace vyplývá, že použití zajištění kvality služeb výrazně zlepšuje vlastnosti sítě pro přenos citlivých dat. V první dvojici grafů je ukázáno srovnání přístupu k vyjednávání PDP kontextů obou modelů (viz *Obr. 19 a 20: Závislost zpoždění vyjednávání PDP kontextu a GPRS Attach*). Z těchto hodnot je zřejmé, že model bez podpory kvality služeb se nezajímá o to, jaká data jsou ve skutečnosti sítí přenášena, je vyjednáno pouze jeden primární PDP kontext s nastavením pro přenos obecných dat. Kdežto model s podporou kvality služeb pečlivě rozděluje jednotlivé typy přenášených dat dle služby, která přenos iniciuje, resp. dle aplikací nastavené třídy QoS. Další grafy znázorňují rozdíly v hodnotách jitteru (*Obr. 21*). Zbývající

dva grafy znázorňují datové toky aplikace VoIP při neaktivním a aktivním QoS (*Obr. 22 a Obr. 23*).

Z problémů čistě mobilních sítí zmíním zajištění mobility, tedy možnost se s mobilním přístrojem volně pohybovat, aniž bychom ztratili spojení se sítí. Tento problém řeší procedura Handover. V druhé simulaci v prostředí OPNET Modeler jsem se zabýval právě touto problematikou. Srovnal jsem dva základní typy handoveru používaného v UMTS sítích (soft handover a hard handover). Soft handover má ještě speciální případ, softer handover, kdy UE navazuje a ruší spojení s alespoň dvěma anténami jediného NodeB. V simulaci jsem se zaměřil na porovnání hodnot zpoždění přístupu k aplikacím v případě, že síť podporuje soft handover a v případě, že je UE odkázán na hard handover. Z výsledků simulace je patrné, že v prvním scénáři jsou hodnoty zpoždění přístupu k aplikacím výrazně nižší než ve druhém scénáři (hard handover), viz *Obr. 27*. Dále jsou uvedeny grafy znázorňující hladiny přijímaných signálů od buněk sítě pro jednotlivé účastníky (*Obr. 33, Obr. 34, Obr. 35, Obr. 38, Obr. 39, Obr. 40*). Z těchto grafů lze snadno vyčíst, v kterých okamžicích jednotliví účastníci přecházeli mezi buňkami (sektory) sítě. UE měří hladiny přijímaných signálů a pokud hladina jednoho klesá pod úroveň druhého, iniciuje proceduru handover. V případě soft handoveru je každý účastník připojen alespoň ke dvěma buňkám (sektorům). Pokud nastane případ, že všechny ostatní buňky (sektory), kromě jedné, mají výrazně nižší hodnoty přijímaných signálů, pak ponechává v seznamu aktivních pouze jedinou buňku (sektor) s nejvyšší hladinou přijímaného signálu. Údaje o tom jaké buňky jsou v danou chvíli zařazeny do seznamu aktivních (pro jednotlivé UE) jsou v grafech viz *Obr. 31 a 32*: ID aktivních buněk pro UE_VoIP_01 a UE_VoIP_02, soft_handover., *Obr. 37*. Pro průběh aplikací vyšel z výsledků simulace lépe Soft handover. Hard handover klade na síť nižší nároky, avšak pohyb účastníků dokazuje, že soft handover je flexibilnější, neboť naměřená zpoždění jsou nižší při tomto typu handoveru. Hard handover navíc nese riziko, že při průběhu procedury může dojít ke ztrátě dat. Pokud se tak stane při VoIP hovoru, účastník nic nepozná, ale v případě že se bude jednat o přenos klasických dat, může dojít ke ztrátě důležitých informací.

7 LITERATURA

- [1] BANERJEE, S., CHAKRAVORTY, R., CHESTERFIELD, J., CROWCROFT, J. *Experiences with multimedia streaming over 2.5G and 3G Networks*. [s.l.], [2000?]. 9 s. Cambridge University Computer Laboratory Cambridge, UK. Vedoucí Studie Rodriguez Pablo, Microsoft Research.
- [2] BANERJEE, S., CHAKRAVORTY, R., CHESTERFIELD, J., CROWCROFT, J. *RTP: Audio and Video for the Internet*, Boston: Addison Wesley, 2003. ISBN 0-672-32249-8.
- [3] BANNISTER, J., COOPR, S., MATHER, P. *Convergence Technologies for 3G Networks*. England: Sons Ltd, 2004. 672 s. ISBN 0-470-86091-X.
- [4] BERÁNEK, P. *Digitální video v praxi*, Brno: Mobil Media, 2003. 342 s. ISBN 80-86593-34-7.
- [5] GHADIALY, Zahid . *A look at PDP Context in UMTS network* [online]. 2007 , 4.11.2007 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <http://www.3g4g.co.uk/Tutorial/ZG/zg_pdp>.
- [6] GRÄBNER, S., HEIER S., KEMPER, A., ROCK J. O. *Quality of Service of Internet Applications over the UMTS Radio Interface*, Communication Networks, Aachen, Germany: RWTH, 2004.
- [7] HANUS, S. *Rádiové a mobilní komunikace* [s.l.], 2002. 85 s. VUT Brno. Skriptum.
- [8] HANUS, S., FENCL, J., ŠTENCEL, J. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*, 2005. 80 s. VUT Brno. Skriptum. ISBN 80-214-2817-1.
- [9] KOKEŠOVÁ, Nikola. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*. [s.l.], 2006. 50 s. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc. Dostupný z WWW: <http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_6_9>.
- [10] LEHNERT STEFAN, *Course UMTS Networks*. TKN TU Berlín.
- [11] <http://access.feld.cvut.cz>, [cit. 2007-12-20].
- [12] <http://radio.feld.cvut.cz>, [cit. 2007-12-27].
- [13] <http://site.the.cz>, [cit. 2007-12-22].
- [14] <http://www.umtsworld.com/technology/qos.htm>, [cit. 2008-05-22].
- [15] <http://www.umtsworld.com/technology/handover.htm>, [cit. 2008-05-23].

8 SEZNAMY

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma sítě UMTS s připojením k pevným sítím.

Obr. 2: Referenční model ISO/OSI

Obr. 3: Schéma principu funkce ARQ (selective repeat)

Obr. 4: Leaky Bucket Algorithm

Obr. 5: Schéma architektury „Nosné Služby“ v UMTS [14]

Obr. 6: Vícenásobné primární PDP kontexty [5].

Obr. 7: Jeden primární PDP kontext a dva sekundární PDP kontexty [5].

Obr. 8: GPRS Attach

Obr. 9: PDP context activation

Obr. 10: Hard handover, UE je vždy připojen jen jediné buňce (sektoru).

Obr. 11: Soft handover, UE je vždy připojen minimálně k jedné buňce (sektoru).

Obr. 12: Softer handover, UE je vždy připojen minimálně k jednomu sektoru, ale vždy jen k jedinému NodeB.

Obr. 13: Schéma modelu sítě: bp_UMTS_sluzby_simultanne.prj.

Obr. 14: Aplikační okno, editace vlastností modelového prvku Application Config

Obr. 15: Aplikační okno, editace vlastností modelového prvku Profile Config

Obr. 16: Aplikační okno, editace vlastností prvku UE (destination preferences).

Obr. 17: Aplikační okno, editace vlastností modelového prvku UE (Supported Profiles).

Obr. 18: Aplikační okno, editace vlastností modelového prvku UE (Supported Services).

Obr. 19 a 20: Závislost zpoždění vyjednávání PDP kontextu a GPRS Attach.

Obr. 21: Aplikace VoIP Variace ve zpoždění paketů (Packet Delay Variation - Jitter)

Obr. 22: Aplikace VoIP Data bez podpory QoS

Obr. 23: Aplikace VoIP Data s podporou QoS

Obr. 24: Schéma modelu sítě: bp_UMTS_handover.prj

Obr. 25: Definování trajektorií, menu OPNET Modeler

Obr. 26: Editace trajektorie, OPNET Modeler

Obr. 27: GPRS Mobility Management, zpoždění přístupu k aplikacím.

Obr. 28: Data aplikací přenášená sítí, soft_handover.

Obr. 29: Data aplikací přenášená sítí, hard_handover.

Obr. 30: UMTS GPRS Mobility Management, GPRS = GPRS Attach Delay, PDP = PDP Context Activation Delay, soft_handover.

Obr. 31 a 32: ID aktivních buněk pro UE_VoIP_01 a UE_VoIP_02, soft_handover.

Obr. 33: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_01 (na buňku), soft_handover.

Obr. 34: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_02 (na buňku), soft_handover.

Obr. 35: Hladina přijímaného signálu UE_FTP_EMAIL (na buňku), soft_handover.

Obr. 36: UMTS GPRS Mobility Management, hard_handover.

Obr. 37: ID Buňky v aktivní sadě, hard_handover.

Obr. 38: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_01 (na buňku), hard_handover.

Obr. 39: Hladina přijímaného signálu UE_VoIP_02 (na buňku), hard_handover.

Obr. 40: Hladina přijímaného signálu UE_FTP_EMAIL(na buňku), hard_handover.

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Třídy QoS [14]