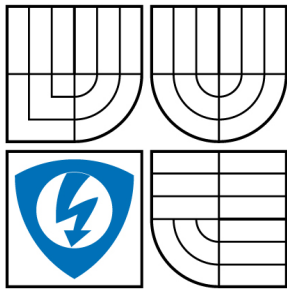


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OPTIMALIZACE PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ UMTS

OPTIMIZATION OF UMTS ACCESS NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. KAREL HAVLÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÍT NOVOTNÝ, Ph.D.

BRNO 2008

ANOTACE

Tato diplomová práce pojednává o optimalizaci přístupové sítě UMTS, což představuje rozbor rádiového rozhraní, popis služeb a procedur, výpočty a nastavení potřebných parametrů a další záležitosti nutné pro správné fungování přístupové sítě. Cílem je efektivně fungující síť, minimální náklady a maximální výkonnost a flexibilita sítě. Optimalizace za provozu systému je velmi důležitá kvůli povaze systému. Systém UMTS používá techniku WCDMA, kde jednotliví účastníci sdílejí stejné frekvenční pásmo a rozlišení jsou prostřednictvím kódových sekvencí. Kapacita takového systému je pak určena úrovní rušení - každý účastník celkovou úroveň rušení zvýší o hodnotu odpovídající jeho vysílacímu výkonu. Maximální kapacita buňky je dána maximální úrovní rušení, při které stanice mohou provozovat požadované služby a souvisí tedy nejen s počtem účastníků, ale i s jejich datovou přenosovou rychlostí. Optimalizace umožňuje různým službám s různými požadavky tento systém efektivně využívat. Hlavním nástrojem pro optimalizaci je řízení využívání rádiových zdrojů, zahrnující množství algoritmů, jako například řízení přístupu, které rozhoduje o přijetí nebo odmítnutí uživatele požadujícího využívání určité služby, řízení výkonu, které zajišťuje, aby uživatelé vysílali s minimálním výkonem dostačujícím pro fungování jimi provozované služby, řízení handoveru a další. Hlavním parametrem, který tyto algoritmy využívají je zátěž buňky, představující zvýšení úrovně rušení. Pro stanovení této zátěže existuje více metod, některé z nich jsou v této práci popsány. Zmíněny jsou i některé další postupy pro optimalizaci sítě. Tato práce zahrnuje také návrh laboratorní úlohy pro částečné seznámení s problematikou využívání rádiových zdrojů s použitím simulačního prostředí OPNET Modeler.

Klíčová slova: UMTS, rádiová přístupová síť, UTRAN, optimalizace, řízení využívání rádiových zdrojů, RRM, zátěž buňky

ABSTRACT

This master's thesis deals with a UMTS radio access network optimization, containing radio interface analysis, services and procedures description, ways to correct parameters calculations and settings and other issues necessary for a correct access network operation. The goal is effective network operation, minimum costs and maximum performance and flexibility of the network. The optimization during system operation is important because of the system character. The UMTS system uses the WCDMA technology, where particular users share the same frequency band and they are distinguished from one another via code sequences. The capacity of such a system is then given by the interference level - each particular user increases the interference level by the value corresponding to his transmit power. The maximum cell capacity is determined by the maximum interference level at which users can still operate with required services, so it is related not only to the number of users, but also to their bit rate. The optimization allows effective usage of the system for different services with different requirements. The main optimization tool is the radio resource management, containing number of algorithms, such as admission control, which decides the acceptance or rejection of a new user demanding certain service, power control, which ensure that users transmit with a minimal power sufficient for required service, handover and cell selection algorithms etc. The major parameter used by these algorithms is a cell load factor, which is related to the interference level margin. There are several methods for the load factor estimation and some of them are described in this work. Some other optimization techniques are mentioned here, too. This work also contains a laboratory exercise proposal for radio resource management introduction using the OPNET Modeler network simulation tool.

Keywords: UMTS, radio access network, UTRAN, optimisation, optimization, radio resource management, RRM, cell load factor

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Optimalizace přístupové sítě UMTS" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 diplomové práce doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AICH	Acquisition Indicator Channel
AMR	Adaptive Multi-Rate
AP-AICH	Access Preamble Acquisition Indicator Channel
AS	Active Set
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Centre
BCCH	Broadcast Control Channel
BER	Bit Error Rate
BCH	Broadcast Channel
BMC	Broadcast/Multicast Control Protocol
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CAC	Call Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CCCH	Common Control Channel
CD/CA-ICH	Collision Detection/Channel Assignment Indicator Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CRNC	Controlling Radio Network Controller
CS	Circuit-Switch
CSICH	CPCH Status Indicator Channel
CTCH	Common Traffic Channel
DCCH	Dedicated Control Channel
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DCH	Dedicated Channel
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DRNC	Drift Radio Network Controller
DSCH	Downlink Shared Channel
DS-WCDMA	Direct-Spread WCDMA
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EIR	Equipment Identity Register
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FACH	Forward Access Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FD-WCDMA	Frequency Division WCDMA
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HLR	Home Location Register
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access

HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telecommunications for year 2000
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicator
LMSI	Local Mobile Station Identity
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Control
MS	Monitored Set
MSC	Mobile Switching Centre
MSISDN	Mobile Station International Subscriber Directory Number
MSRN	Mobile Station Roaming Number
NMS	Network Management System
NRT	Non-Real-Time
OCQPSK	Orthogonal Complex Quadrature Phase Shift Keying
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor
P-CCPCH	Primary Common Control Physical Channel
PCCH	Paging Control Channel
PCPCH	Physical Common Packet Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDN	Public Data Network
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PCH	Paging Channel
PICH	Paging Indicator Channel
PLMN	Public Land Mobile Network
PRACH	Physical Random Access Channel
PS	Packet-Switch
PSTN	Public Switch Telephone Network
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RB	Radio Bearer
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RRC	Radio Resource Control
RREU	Radio Resource Equivalent Unit
RT	Real-Time
S-CCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SGSN	Serving GPRS Support Node
SCH	Synchronisation Channel
SRB	Signalling Radio Bearer
SRNC	Serving Radio Network Controller
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access

TD-WCDMA	Time Division WCDMA
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Number
UE	Universal Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VBR	Variable Bit Rate
VLR	Visitor Location Register
VoIP	Voice over Internet Protocol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network

<i>BER</i>	bitová chybovost
C_{ch}	kanálová kódová sekvence
C_{scr}	skramblovací kódová sekvence
E_b/N_0 [dB]	poměr energie bitu a výkonové spektrální hustoty šumu
f	poměr mezibuňkového rušení a rušení z vlastní buňky
I [dB]	úroveň rušení v buňce
L_p [dB]	přenosový útlum
M	počet uživatelů
N	počet aktivních uživatelů (využívajících určitou službu)
n	počet současně komunikujících uživatelů (přenášejících data)
P_0 [dBm]	výkon uživatele přijímaný na vstupu přijímače
P_{AV} [dBm]	průměrný vysílací výkon Node B
$P_{intra,0}$ [dBm]	přijímaná úroveň rušení od uživatelů stejné buňky
P_N [dBm]	výkonová úroveň šumu v buňce
p_n	pravděpodobnost současné komunikace n uživatelů
P_p [dBm]	vysílací výkon přiřazený sdíleným řídicím kanálům
P_R [dBm]	celkový výkon z vlastní buňky přijímaný u Node B
P_T [dBm]	vysílací výkon
P_{TOT} [dBm]	celkový výkon přijímaný u Node B
r	kódovací poměr
R_b [b/s]	informační přenosová rychlost dat
R_S [b/s]	kanálová přenosová rychlost dat
S/I	poměr signálu a šumu
SF	rozprostírací faktor
W [Hz]	využitelná šířka pásma
X_n	parametr pro výpočet zátěže v ve směru downlink
α	faktor aktivity uživatele
χ [dBm]	mezibuňkové rušení (rušení od okolních buněk)
η	zátěž buňky
η^S	odhad zátěže buňky
ρ	faktor ortogonality

OBSAH:

Úvod.....	- 13 -
1 Úvod do UMTS	- 14 -
2 Architektura UMTS	- 15 -
2.1 Páteřní síť.....	- 15 -
2.1.1 Prvky páteřní sítě	- 16 -
2.1.2 Přenosová technologie páteřní sítě	- 17 -
2.2 Rádiová přístupová síť – UTRAN	- 19 -
2.2.1 Rádiové rozhraní.....	- 19 -
2.2.2 Rozprostírání a modulace	- 20 -
2.2.3 Protokolová struktura rádiového rozhraní	- 23 -
3 Optimalizační proces v UTRAN.....	- 29 -
3.1 Struktura optimalizačního procesu	- 29 -
3.2 Řízení využívání rádiových zdrojů (RRM)	- 31 -
3.2.1 Kapacita rádiového rozhraní.....	- 33 -
3.2.2 Řízení přístupu.....	- 36 -
3.2.3 Plánovač paketů	- 44 -
3.2.4 Řízení zátěže	- 45 -
3.2.5 Řízení handoveru	- 46 -
3.2.6 Řízení výkonu	- 48 -
3.2.7 Rozdělování přenosové zátěže.....	- 55 -
3.2.8 Omezování rušení	- 55 -
3.2.9 Prostředky pro zjišťování stavu sítě.....	- 56 -
Závěr	- 57 -
Seznam literatury	- 58 -
Přílohy.....	- 59 -

ÚVOD

System UMTS patří do skupiny mobilních systémů třetí generace, které se v současnosti začínají rozšiřovat a mají potenciál pro prudký růst počtu uživatelů. Na začátku minulého roku informovalo UMTS Forum, že po celém světě je přes šestnáct milionů uživatelů sítě 3G a podle odhadů společnosti Nokia vzroste toto číslo tento rok až na 70 milionů. Proto je v současnosti velmi aktuální téma plánování a následné optimalizace sítě UMTS, což je důležité pro jejich správné a efektivní fungování a také to ovlivňuje finanční náklady operátora na výstavbu a provoz sítě.

Cílem této práce je seznámení s problematikou UMTS sítě, zejména z pohledu využívání rádiových zdrojů a dále se věnovat optimalizaci přístupové části sítě (rádiového rozhraní). V úvodu je stručně zmíněna historie a vývoj sítě třetí generace, následuje popis architektury sítě UMTS, který se zaměřuje zejména na rádiovou přístupovou síť (UTRAN). V části o rádiovém rozhraní je popsáno kmitočtové spektrum systému, použité způsoby zpracování signálu a základní principy a parametry používané ve WCDMA sítích. K popisu rádiového rozhraní patří i protokolová struktura rozhraní, popisující druhy a funkci logických, transportních a fyzických kanálů, jejich vzájemné mapování a volbu vhodného kanálu pro danou službu. Nejobsáhlejší kapitola pojednává o vlastní optimalizaci přístupové sítě. První část je spíše teoretická, uvádí do problematiky optimalizace a její struktury, druhá část, řízení využívání rádiových zdrojů, pak rozebírá metody a procesy umožňující fungování sítě a všech jejích služeb a jejich dostupnost pro uživatele. V síti UMTS má velký význam vzájemně svázaná trojice kapacita, pokrytí a kvalita služeb a zejména na tyto tři parametry je proto zaměřena tato kapitola. Konkrétně jde o řízení uživatelské zátěže, řízení přístupu, řízení výkonu, handover a další. Jsou zde také uvedeny metody výpočtu některých parametrů včetně ukázkových příkladů či názorné grafy zobrazující vzájemné závislosti těchto parametrů. Kromě toho jsou uvedeny některé další problémy, které je třeba při optimalizaci mobilní sítě UMTS řešit. Pro ověření některých algoritmů přístupové sítě je použit simulační software OPNET Modeler, zejména pro získání konkrétních parametrů potřebných při výpočtech a porovnání vypočtených hodnot s hodnotami získanými simulací skutečné sítě.

Poslední částí této práce je návrh laboratorní úlohy na téma kapacita buňky v systému UMTS. Úloha také využívá OPNET Modeler a její náplní je seznámení s možnostmi určování kapacity buňky pomocí výpočtu zátěže buňky různými metodami a následně srovnání výsledků početních metod a výsledků simulace v prostředí OPNET Modeler. Student by měl po absolvování úlohy získat představu o základních principech přístupové sítě UMTS a o vlivu uživatelských parametrů na kapacitu systému.

1 ÚVOD DO UMTS

Koncem osmdesátých let započala ITU (International Telecommunication Union) vyvíjet systém mobilní komunikace s jedinou univerzální sítí s unifikovanými službami a s použitým frekvenčním spektrem shodným po celém světě, umožňující hlasové i datové služby s lepšími parametry. Tento systém se označuje zkratkou IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for year 2000) a bývá také nazýván mobilní systém třetí generace (3G). Kvůli problémům s celosvětovou standardizací vznikla skupina standardů IMT-2000 family, podle nichž je v Evropě vyvíjen systém UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) pod vedením ETSI (European Telecommunications Standards Institute). ETSI a obdobné instituty po celém světě spolupracují na vývoji systému podle pravidel ITU IMT-2000 v rámci projektu 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

Některé požadavky a cíle IMT-2000:

- přenosové rychlosti dat
 - uvnitř budov, při rychlosti pohybu terminálu do 6 km/h až 2048 kb/s,
 - v městské zástavbě, při rychlosti do 120 km/h minimálně 384 kb/s,
 - mimo města v rychlých dopravních prostředcích minimálně 144 kb/s,
- podpora celosvětové mobility,
- nezávislost vlastností a nabídky služeb na technologii rádiového rozhraní,
- bezproblémová konvergence služeb poskytovaných v pevných i mobilních sítích,
- podpora multimediálních služeb v reálném čase,
- flexibilita při zavádění nových služeb.

Hlavní rozdíly mezi systémy UMTS a GSM vyplývají z rozdílných přístupových technologií na rádiovém rozhraní. Přístup CDMA použitý u UMTS opakovaně využívá stejný kmitočet nosné v každé buňce. Proto lze využít makrodiverzitu přijímaných signálů, přijímače RAKE nebo několik typů handoveru. Souvisí s tím však i nevýhody, jako například tzv. dýchání buňky [4].

Systémy třetí generace jsou vyvíjeny v návaznosti na systémy druhé generace (2G), rozdělení do etap umožňuje plynulý přechod z 2G na 3G.

3GPP rozděluje vývoj UMTS do etap označovaných písmenem R (release):

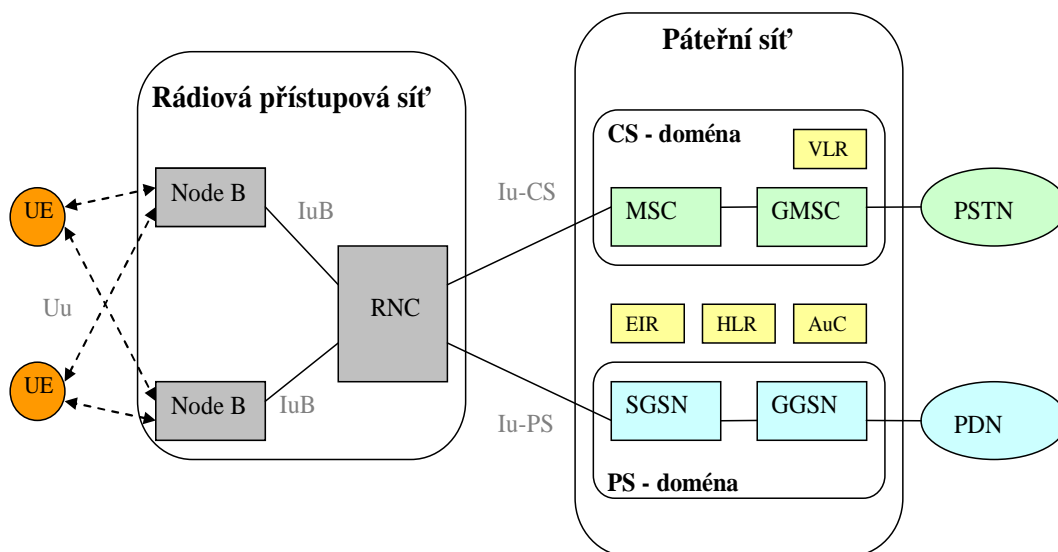
- R99 – první úplná definice UMTS, uvádí do provozu nové rádiové rozhraní UTRA (UTRAN), namísto rádiového rozhraní GSM. Struktura základní sítě se příliš neliší od struktury v systému GSM2+ s GPRS,
- R4 – minimální změny,
- R5 – IP charakter páteřní sítě, rozšíření o HSDPA,
- R6 – rozšíření o HSUPA, využití WLAN,
- R7, R8 – zatím poslední specifikace, přenosové rychlosti dat až 100 Mb/s.

2 ARCHITEKTURA UMTS

UMTS síť má dvě základní části:

- 1) **Páteřní síť** (CN, Core Network) – řídí provoz a spojení v systému. Její součástí je servisní řídicí síť (SCN, Service Control Network), která zajišťuje řízení, zpracování a uchování dat a síť telekomunikačního managementu (TMN).
- 2) **Rádiová přístupová síť** (RNS, Radio Network System) – plní přenosové a přepojovací funkce, využívá rádiové rozhraní UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access).

Zjednodušené schéma obecné architektury je na Obr. 2-1. Podrobné schéma struktury sítě, včetně rozhraní, je v [příloze 1](#).



Obr. 2-1: Základní struktura UMTS (R99)

2.1 Páteřní síť

Má podobnou konfiguraci jako u systému GSM a je složena ze dvou hlavních provozních částí, určených pro různé druhy provozu.

V subsystému CS je soustředěn pouze komutovaný provoz, neboli provoz s přepínáním okruhů (obdoba hlasové komunikace v systému GSM). Tento subsystém zajišťuje nastavení všech částí páteřní sítě pro komutovaný přenos včetně potřebné signalizace. Obsahuje MSC (Mobile Switching Centre), GMSC (Gateway MSC) a VLR (Visitor Location Register) a provádí i všechny potřebné funkce směrem k sítím PSTN, respektive ISDN.

V subsystému PS je soustředěn pouze paketový provoz – přepínání paketů (obdoba datové komunikace v systému GPRS). Provádí nastavení všech potřebných částí páteřní sítě pro paketový přenos. Obsahuje SGSN (Serving GPRS Support Node) a GGSN (Gateway GPRS Support Node) a zajišťuje všechny potřebné funkce směrem k paketovým sítím PDN, například k Internetu.

Dalším subsystémem je BS (broadcast), obsahující centrum pro koordinaci vysílání v jednotlivých buňkách (CNC) [4].

2.1.1 Prvky páteřní sítě

Každý prvek páteřní sítě má svou specifickou funkci a zároveň spolupracuje s ostatními prvky sítě. Následuje stručný popis funkcí těchto prvků.

GMSC (Gateway Mobile Switching Centre)

GMSC představuje rozhraní mezi mobilní sítí (PLMN) a ostatními, vnějšími sítěmi (PSTN, PDN...). Přebírá signalizaci a data z/do vnějších sítí a převádí je tak, aby vyhovovaly protokolům používaným v dané síti. Pro směrování hovorů v rámci mobilní sítě spolupracuje s HLR.

MSC (Mobile Switching Centre)

Mobilní radiová ústředna představuje rozhraní mezi rádiovou a pevnou částí mobilní sítě. Vykonává všechny nezbytné funkce pro řízení okruhově spínaných služeb pro mobilní stanice. Každá MSC obsluhuje několik základnových stanic. Pro pokrytí území celé země slouží několik MSC. MSC vykonává všechny přepojovací a signalizační funkce pro mobilní stanice nacházející se v dané oblasti.

Hlavní rozdíl mezi MSC a ústřednami v pevné síti je ten, že MSC musí počítat s dopadem přidělování rádiových zdrojů a mobilní povahou účastníků. Musí tak vykonávat přinejmenším tyto dva další soubory procedur:

- procedury pro lokalizaci mobilní stanice,
- procedury pro handover.

VLR (Visitor Location Register)

Uživatelské zařízení (UE, User Equipment, obdoba mobilní stanice v GSM) pohybující se v oblasti jedné MSC je řízeno registrem návštěvníků (VLR), který se stará o tuto oblast. Když UE vstoupí do nové místní oblasti (location area), začne registrační procedura. MSC, která obsluhuje danou novou místní oblast si všimne této nové registrace a přemístí do VLR identitu oblasti, ve které se UE nachází. Jestliže toto UE ještě není u VLR registrováno, vymění si VLR s HLR údaje umožňující správné odbavení hovorů pro toto zařízení.

Jeden VLR může mít na starosti jednu nebo více místních oblastí. VLR má v databázi informace pro obsluhování hovorů sestavených nebo přijatých mobilní stanicí a pro případné další služby (další informace může získat od HLR).

Databáze VLR obsahuje:

- IMSI (International Mobile Station Identity),
- MSISDN (Mobile Station International ISDN Number),
- MSRN (Mobile Station Roaming Number),
- TMSI (Temporary Mobile Station Identity) - pokud je potřeba,
- LMSI (Local Mobile Station Identity) - pokud je použito,
- identitu místní oblasti, ve které je stanice registrována,
- identitu SGSN, kde je stanice registrována (pouze u sítí podporujících GPRS majících rozhraní Gs mezi MSC/VLR a SGSN),
- poslední známou pozici a výchozí pozici mobilní stanice.

HLR (Home Location Register)

Mobilní síť může obsahovat jeden nebo více domovských registrů (HLR), ten obsahuje následující typy informací:

- uživatelské informace (např. MSRN, VLR Number, MSC Number, lokální identita UE, SGSN Number),
- identifikační údaje (IMSI, MSISDN...),

- další informace, například: informace o telekomunikačních a podpůrných službách uživatele, servisní omezení, údaje pro skupinová volání, parametry doplňkových služeb.

AuC (Authentication Centre)

Autentizační centrum je entita, která ukládá data každého mobilního uživatele a umožňuje ověření IMSI a šifrovanou komunikaci rádiovým kanálem mezi uživatelem a sítí. AuC přenáší data potřebná pro autentizaci a šifrování přes HLR do VLR, MSC a SGSN, které potřebují ověřit identitu uživatelského zařízení. AuC je sdruženo s HLR a obsahuje identifikační klíč každého uživatele registrovaného v daném HLR. Tento klíč slouží pro generování dat pro ověření IMSI a pro generování klíče pro šifrovanou komunikaci rádiovým kanálem. AuC komunikuje pouze s přidruženým HLR přes rozhraní H.

EIR (Equipment Identity Register)

Registr mobilních stanic je logická entita, která uchovává všechna používaná IMEI (International Mobile Equipment Identity). IMEI každého přístroje je zařazeno na jeden ze tří seznamů - white list (bezproblémové přístroje), grey list („podezřelý“ přístroje) a black list (blokové přístroje), případně může být neznámé (nezařazené). EIR má obsahovat minimálně seznam white list.

SGSN/GGSN (Serving/Gateway GPRS Support Node)

Úkolem SGSN je směrování paketů k uživateli (routing). Tyto data mohou mít původ v dané mobilní síti (PLMN), nebo v externí datové síti (PDN). V druhém případě jsou data nejprve směrována z externí PDN do GGSN, který plní funkci rozhraní mobilní sítě s těmito PDN a odtud se všechna data přenáší do SGSN, kde jsou nasměrována přímo k uživateli podle jeho aktuální polohy. Z toho je vidět, že podobně jako MSC i SGSN spolupracuje s domovským registrem HLR a jemu přidruženými funkčními jednotkami (autentizační centrum, registr mobilních stanic) [5].

2.1.2 Přenosová technologie páteřní sítě

Výraznou změnou základní sítě UMTS oproti GSM je uvedení ATM jako prioritní přenosové technologie (R99), namísto ISDN technologie používané v GSM. Dalším krokem k univerzálnosti sítě bude použití IP protokolu při komunikaci (R5), ať už uvnitř základní sítě nebo mezi jednotlivými mobilními sítěmi. Ten byl zvolen jednak pro svou univerzálnost, a také pro velké rozšíření tohoto protokolu, což usnadní komunikaci s jinými PDN, hlavně s Internetem.

RELEASE 99

ATM síť se skládá z uzlů a linek. Uzly tvoří jednotlivé funkční bloky jako SGSN, GGSN, RNC (Radio Network Controller) a podobně. Data jsou rozdělena do ATM buněk vysílaných po jednotlivých linkách. Na zabezpečení přenosu různých typů služeb s odlišnými vlastnostmi (datová přenosová rychlost, její kolísání, zpoždění) a druhem informací jsou použity různé ATM adaptační vrstvy (AAL).

V případě UMTS R99 jsou použity dvě ATM adaptační vrstvy:

- AAL2, pomocí tohoto přenosového módu jsou zpracovávána spojově orientovaná data s proměnlivou rychlostí a s minimálním zpožděním. Je vhodný

zejména pro přenos služeb s variabilní přenosovou rychlostí v reálném čase - video, zvuk. AAL2 je použita jen na přenos uživatelských dat.

- AAL5 se v UMTS používá na přenos signalizace a paketově orientovaných dat.

RELEASE 5

Páteří sítí tvoří jediná síť založená na protokolu IP. Pro poskytování podpory multimediálních služeb na bázi IP využívá síť PS doménu (UE, UTRAN, SGSN, GGSN) a IM (IP multimedia) doménu. PS doména zprostředkovává přenos IP provozu a IM doména poskytuje řízení a procesy konverze médií. IM je připojena k PS doméně přes GGSN.

Hlavní charakteristiky UMTS založeném na protokolu IP:

- paketový přenos s použitím protokolu IP,
- mobilní terminály plní funkci klienta IP,
- oddělené řízení služeb a řízení spojení,
- nahrazení transportu SS7 (Signalling System Number 7) protokolem IP,
- nezávislost architektury sítě na fyzické a linkové vrstvě referenčního modelu OSI.

Release 5 zahrnuje dva principiální požadavky:

- musí dovolovat operátorům podporovat i CS terminály používané v Release 99,
- musí umožňovat paralelní existenci IP a CS domény, takže operátor může využívat CS doménu z R 99 a IP doménu z R5.

Výhodou páteří sítě založené na protokolu IP je velká rozšířenost Internetu po celém světě a to, že velké množství aplikací bude generováno internetovými službami a aplikacemi. Tím by se umožnilo například přenášet obyčejné hovory pomocí paketů (VoIP).

Release 5 dále zavádí technologii HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), která umožňuje maximální přenosovou rychlost 14,4 Mb/s (nový kanál HS-DSCH) a snižuje také zpoždění při přenosu (část řízení přesunuta z RNC do Node B). Tato technologie používá pevný rozprostírací faktor $SF = 16$, adaptivní modulaci a kódování AMC (modulace QPSK, 16QAM, kódovací poměr $1/4 \div 4/4$) a kontrolu chyb HARQ (hybridní ARQ) [7].

RELEASE 6

Zavádí technologii HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), která stejně jako HSDPA využívá HARQ a přesun části řízení z RNC do Node B, nepoužívá však adaptivní modulaci a kódování. Umožňuje maximální přenosovou rychlost až 5,8 Mb/s. Počítá se také se spoluprací s WLAN sítěmi.

HSDPA a HSUPA bývají souhrnně označovány HSPA a v rámci Release 7 se testuje novější verze HSPA+, která by měla dosahovat rychlostí až 42Mb/s (DL) a 11 Mb/s (UL). Zatím poslední vyvíjený Release 8 (tzv. LTE – Long Term Evolution) má využívat proměnnou šířku pásma (až 20 MHz) a dosahovat tak rychlosti až 100/50 Mb/s.

2.2 Rádiová přístupová síť – UTRAN

UMTS Terrestrial Radio Access Network - síť pozemního rádiového přístupu do UMTS). Skládá se ze subsystémů rádiové sítě, RNS, což jsou ekvivalenty GSM BSS. Každý RNS obsahuje jeden RNC (Radio Network Controller, ekvivalent GSM BSC), který by měl být připojen jen k jedné základní síti a to přes Iu rozhraní (včetně PS i CS složky). Každý RNC ovládá několik Node B (ekvivalent základnové stanice GSM BTS). Node B jsou k RNC připojeny přes Iub rozhraní. Rádiové rozhraní mezi Node B a uživatelským zařízením je označeno jako Uu.

Novým prvkem, který v GSM nefiguroval je rozhraní Iur mezi jednotlivými RNC. Toto rozhraní slouží na zabezpečení handoveru bez přerušení spojení i při vysokých přenosových rychlostech, na přenos paketů ze zásobníku předešlého RNC do druhého RNC v případě, že uživatel už byl přepojen a zásobník předešlého RNC ještě obsahuje pakety, které nestihl poslat uživateli. Za pomoci Iur rozhraní je možné i sdílení zdrojů jednotlivých RNC navzájem.

Node B

Jeho hlavní funkcí je převod informačního signálu z transportních kanálů na rozhraní Iub do WCDMA fyzických kanálů na rozhraní Uu a naopak. Vedle těchto základních přenosových funkcí zajišťuje Node B také řízení výkonu uživatelských zařízení (tzv. vnitřní smyčka) a provádí měření velikosti rádiových signálů na jehož základě rozhoduje o provedení handoveru, o zatížení buňky a řízení přístupu do buňky podle požadavků RNC. Další důležitou funkcí je zajištění kmitočtové a časové synchronizace mobilní stanice se systémem (chipové, bitové, slotové a rámcové).

RNC

Přiděluje rádiové prostředky a zajišťuje řízení té části UTRAN, která je pod jeho kontrolou. Převádí účastnické signály z rozhraní Iub na Iu a naopak. Dále má na starosti řízení handoveru, řízení výkonů vysílaných signálů, vysílání systémových informací o podmínkách v jednotlivých buňkách, zajištění bezpečnosti UTRAN a další funkce.

Při komunikaci UE a CN je RNC, který obsluhuje dané UE označený jako SRNC (Serving RNC). V některých případech (např. při soft handoveru) může být UE obsluhováno několika RNC, potom se ostatní RNC označují jako DRNC (Drift RNC). Za komunikaci a přenos dat směrem k CN je však vždy zodpovědný SRNC [4], [7].

2.2.1 Rádiové rozhraní

Základní přístupovou metodou v UTRAN je širokopásmový kódový multiplex s přímým rozptěněním **DS-WCDMA**. Pracuje se základní čipovou rychlostí **3,84 Mchip/s** a šířkou kmitočtového pásma **5 MHz**. Připraveny jsou i dvě rychlejší varianty 8,192 Mchip/s a 16,384 Mchip/s.

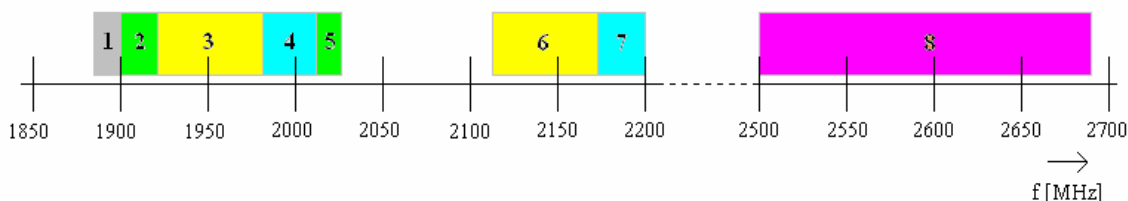
Systém využívá **kombinovaný přístup FDMA/CDMA**. Kmitočtové pásmo přidělené systému je rozděleno na jednotlivé rádiové kanály (FDMA) a v každém rádiovém kanálu jsou jednotlivé uživatelské kanály rozlišeny jedinečnou kódovou sekvencí (rozptěracím kódem), kterou se kóduje přenášená informace (CDMA). Uživatelé systému tedy mohou používat stejný nosný kmitočet a komunikovat ve stejném čase, přičemž pro vzájemné rozlišení používá každý svou vlastní kódovou sekvenci. V přijímači je signál dekodován na základě znalosti příslušné kódové sekvence a tím je obnovena přenášená informace. Kmitočtové dělení lze využít například pro rozlišení operátorů nebo pro vytvoření hierarchické struktury buněk.

Pro systém UMTS jsou vyhrazena kmitočtová pásma v okolí 2 GHz. Jejich kmitočtové rozsahy jsou v Tab. 2-1 a na Obr. 2-2.

Pro nepárovaná pásma (TDD) 2 a 5 byla pro UMTS vybrána technologie TD-WCDMA, vhodná pro asymetrické vysokorychlostní datové přenosy hlavně uvnitř budov. Pro párovaná pásma (FDD) 3 a 6 byla zvolena technologie FD-WCDMA, vhodná pro velkoplošné pokrytí a pro hovorové a středně rychlé symetrické datové služby. Pásmo 1 je rezervováno pro přístup pomocí DECT a pásma 4 a 7 jsou pro družicovou komunikaci v UMTS (MSS). V rámci UMTS Release 8 (Long Term Evolution) se uvažuje o využití pásma okolo 2,6 GHz [4].

Tab. 2-1: Kmitočtová pásma systému UMTS

Pásmo	Kmitočtový rozsah [MHz]	Šířka pásma [MHz]	Použití
1	1885 – 1900	15	DECT
2	1900 – 1920	20	TDD
3	1920 – 1980	60	FDD uplink
4	1980 – 2010	30	MSS
5	2010 – 2025	15	TDD
6	2110 – 2170	60	FDD downlink
7	2170 - 2200	30	MSS
8	2500 - 2690	190	LTE



Obr. 2-2: Orientační rozdělení kmitočtových pásem UMTS

2.2.2 Rozprostírání a modulace

Rozprostírací proces je aplikován na všechny bity přenášené fyzickým kanálem za účelem rozprostřít šířku pásma přenášeného signálu. Tato klíčová procedura WCDMA přístupu umožňuje rozlišení uživatelských kanálů ve fyzickém kanále pomocí kódových sekvencí. V UTRAN FDD je rozprostírání rozděleno na dvě části - **kódování kanálů** (channelisation) a **skramblování** (scrambling), používají se tedy dva typy kódových sekvencí.

KÓDOVÁNÍ KANÁLŮ

Bity vstupního datového signálu na fyzickém kanále jsou nejprve násobeny rozprostíracím kódem (channelisation code) C_{ch} . Násobí se signály nabývající hodnot $\{-1,1\}$, stejného výsledku lze dosáhnout sčítáním modulo 2 signálů vyjádřených logickými hodnotami $\{0,1\}$. Poměr čipové rychlosti rozprostíracího kódu a bitové rychlosti datového signálu je roven **rozprostíracímu faktoru SF**. Výstupní rozprostřený signál má stejnou čipovou rychlost jako rozprostírací kód (3,84 Mchip/s). SF se může měnit v rozsahu od 4 do 512 a přímo tak tedy ovlivňuje uživatelskou datovou přenosovou rychlost - čím nižší rozprostírací faktor, tím vyšší přenosové rychlosti je dosaženo, ale tím méně účastníků může sdílet rádiový kanál a naopak.

Rozprostírací faktor SF je klíčový parametr CDMA systémů, protože souvisí s užitečnou šířkou pásma W a přenosovou rychlostí dat. **Změnou SF můžeme měnit přenosovou rychlost při zachování šířky pásma.** Vztahy mezi těmito veličinami uvádí vztah (2.1):

$$SF = \frac{W}{R_s} = \frac{W}{R_b} r, \quad (2.1)$$

kde R_s je kanálová přenosová rychlost, r je kódovací poměr (1/2, 3/4, 7/8...) a R_b je informační přenosová rychlost.

Pro kódování kanálů se používají **ortogonální rozprostírací kódy** (OVSF), konkrétně Walshovy kódy. Pro vzájemné rozlišení jednotlivých kódů je potřeba, aby jejich vzájemná korelační funkce byla co nejmenší, ideálně nulová. Ortogonalita je však garantována pouze při bezchybné synchronizaci na čipové úrovni u přijímače. Při zpoždění kódu i o jeden čip může dojít k prudkému nárůstu korelační funkce a signál nebude rozeznán. Proto se ortogonální kódy používají pouze pro oddělení fyzických kanálů vygenerovaných ve stejném vysílači.

Faktor E_b/N_0 na výstupu přijímače při použití ortogonálních kódových sekvencí:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{R_b} \frac{P_0}{P_N + \rho P_{\text{intra},0}}, \quad (2.2)$$

E_b/N_0 je poměr energie bitu a výkonové spektrální hustoty šumu (vyjadřuje požadavky uživatele na kvalitu služeb), P_0 je výkon signálu uživatele přijímaný na vstupu přijímače, P_N je celkový výkon šumu v buňce, $P_{\text{intra},0}$ je celkový výkon rušení od uživatelů stejné buňky na vstupu přijímače a ρ je faktor ortogonalit (0 - úplná ortogonalita, 1- neortogonální signály, typické hodnoty v makrobuňkách bývají 0,4-0,6, v mikrobuňkách cca 0,06).

E_b/N_0 je ve vztahu k bitové chybovosti BER podle rovnice

$$BER = f\left(\frac{E_b}{N_0}\right), \quad (2.3)$$

f je funkce závisící na parametrech fyzické vrstvy jako je kanálové kódování, prokládání, impulzní odezva kanálu atd. Pomocí této funkce mohou být požadavky na BER vyjádřeny jako požadavky na E_b/N_0 .

SKRAMBLOVÁNÍ

Po procesu kódování kanálů je získaná sekvence násobena skramblovacím kódem C_{scr} . Tato procedura **nemá vliv na šířku pásma signálu**, čipové rychlosti skramblovacího kódu a sekvence bitů po kanálovém kódování jsou stejné.

Při skramblování se používají **pseudonáhodné kódy** – Gold kódy s periodou 10ms - 38400 čipů (dlouhé kódy) nebo S(2) kódy s periodou 256 čipů (krátké kódy). Ve směru uplink mohou být použity dlouhé i krátké kódy. Krátké kódy lze použít v

buňkách, kde je Node B vybaven pokročilým přijímačem (víceuživatelský detektor nebo potlačení interferencí). V běžných buňkách se používají dlouhé kódy, kvůli jejich lepší odolnosti proti rušení. Ve směru downlink se používají pouze dlouhé kódy.

Faktor E_b/N_0 na výstupu přijímače při použití neortogonálních kódových sekvencí:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{R_b} \frac{P_0}{P_N + P_{\text{intra},0}} = \frac{W}{R_b} \frac{S}{I}, \quad (2.4)$$

kde S/I je odstup signálu od šumu na vstupu přijímače [8].

Rozdělení a parametry kódů v UMTS zobrazuje Tab. 2-2.

Tab. 2-2: Porovnání rozprostíracích a skramblovacích kódů

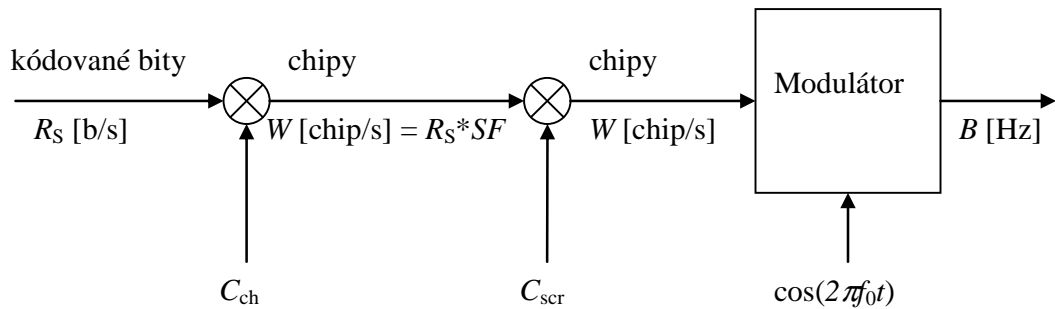
	Rozprostírací kódy	Skramblovací kódy
Použití	Downlink: oddělení uživatelů v rámci buňky Uplink: oddělení kanálů jednoho uživatele	Downlink: oddělení buněk Uplink: oddělení uživatelů
Délka	Downlink: 4 – 512 čipů Uplink: 4 – 256 čipů	Downlink: 10ms = 38400 čipů Uplink: 10ms = 38400 čipů 66,7ms = 256 čipů
Počet kódů	odpovídá rozprostíracímu faktoru SF	Downlink: 512 Uplink: několik milionů
Šířka pásma	Zvyšuje přenosovou šířku pásma	Neovlivňuje

Kódování kanálů odděluje fyzické kanály generované jedním vysílačem. Ve směru uplink umožňují rozprostírací kódy rozlišit různé fyzické kanály patřící jednomu uživateli, ve směru downlink rozlišují signály různých uživatelů obsluhovaných jedním Node B.

Oproti tomu, **skramblování odděluje fyzické kanály generované různými vysílači.** Ve směru uplink umožňují rozlišit signály přicházející od různých uživatelů, zatímco ve směru downlink rozlišují signály přicházející od různých Node B. Za předpokladu, že dva signály používají různé skramblovací kódy, mohou být rozlišeny, i když používají stejný rozprostírací kód.

Nakonec je získaná čipová posloupnost modulována a přenesena k anténě na odpovídajícím nosném kmitočtu f_0 a s šířkou pásma B . Schéma těchto procesů ukazuje obrázek Obr. 2-3.

KANÁLOVÉ KÓDOVÁNÍ SKRAMBLOVÁNÍ MODULACE



Obr. 2-3: Obecná struktura rozptřívacích a modulačních procesů WCDMA

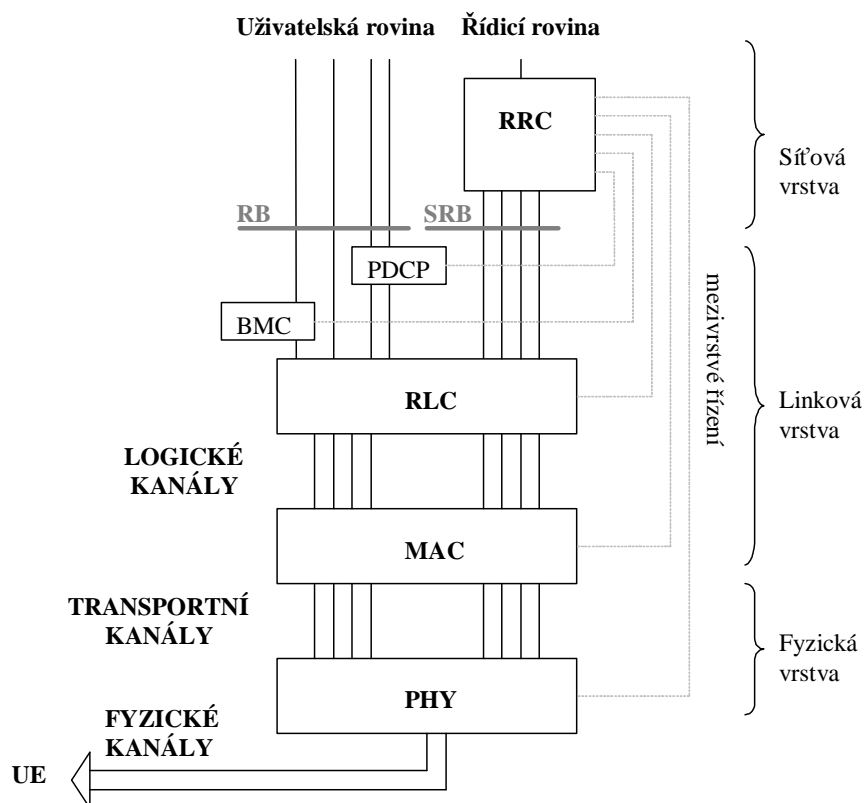
V UMTS se ve směru downlink používá **modulace QPSK**, ve směru uplink **OCQPSK** (Orthogonal Complex QPSK). U modulace QPSK každý fázový stav vyjadřuje dva čipy. Ve směru downlink, kde jsou signály časově multiplexovány do jednoho kanálu, vyjadřuje fázový stav nosné dva vstupní po sobě následující čipy - tzv. časový multiplex QPSK. Ve směru uplink jsou signály kódově multiplexovány a fázový stav nosné také vyjadřuje dva čipy, avšak nyní je tato dvojice tvořena vždy jedním čipem z kanálu DPDCH (uživatelský) a jedním čipem z kanálu DPCCCH (řídící) – tzv. I/Q kódový multiplex QPSK.

Při stejném SF je tedy bitová rychlost datového signálu ve směru uplink prakticky poloviční oproti směru downlink [2], [4].

2.2.3 Protokolová struktura rádiového rozhraní

Struktura vychází z referenčního modelu OSI, část popisující UTRAN je na Obr. 2-4. Protokolová architektura je členěna na řídicí rovinu, odpovědnou za přenos signalizace a uživatelskou rovinu, odpovědnou za přenos uživatelských dat. Protokol se skládá ze tří hlavních vrstev - **fyzické** (L1), **linkové** (L2) a **síťové** (L3). Linková vrstva se pak dělí na dvě podvrstvy - **RLC** (Radio Link Control) a **MAC** (Medium Access Control). Ze síťové vrstvy zasahuje do řídicí roviny UTRAN jen nejnižší podvrstva, označovaná jako **RRC** (Radio Resource Control). Zbývající dvě podvrstvy se řadí do uživatelské roviny; **PDCP** (Packet Data Convergence Protocol), zodpovědná za kompresi hlaviček datových paketů a **BMC** (Broadcast/Multicast Control Protocol), která přizpůsobuje přenos pro služby všesměrového vysílání. RRC je přímo propojená se všemi nižšími vrstvami pro mezivrstevní řídicí služby, což umožňuje konfiguraci nižších vrstev.

Linková vrstva poskytuje vyšším vrstvám službu přenosu informací mezi UE a UTRAN prostřednictvím tzv. **rádiových nosičů** (RB, radio bearer) a signalizačních rádiových nosičů (SRB, signalling radio bearer). První přenáší uživatelská data, druhé řídicí informace mající původ v RRC protokolu nebo ve vyšších vrstvách. Vždy, když uživatelské zařízení používá určitou službu (hovor, videohovor, přístup k Internetu atd.), mělo by mít přiděleno **rádiový nosič, který specifikuje nastavení a parametry podvrstev** linkové vrstvy a fyzické vrstvy v závislosti na charakteru poskytované služby.



Obr. 2-4: Protokolová architektura UTRAN

Informační tok přiřazený RB nebo SRB je mapován do **několika typů kanálů** podle umístění ve vrstvě protokolové architektuře. Existují logické, transportní a fyzické kanály. Toto dělení zajišťuje flexibilitu architektury pro různé konfigurace rádiového rozhraní a umožňuje tak vyhovět různým stupňům QoS.

LOGICKÉ KANÁLY

Používají se mezi vrstvami MAC a RLC, obecně se rozdělují na řídicí (Control Channels, přenos signalizace) a provozní (Traffic channels, přenos uživatelských dat). Jednotlivé kanály mohou být vytvořeny buď pouze pro uplink nebo pouze pro downlink, případně pro oba směry současně (bi-directional). Rozdělení logických kanálů je v Tab. 2-3.

Tab. 2-3: Logické kanály v UMTS

Logické kanály	
Řídicí kanály	Provozní kanály
BCCH (DL)	CTCH (DL)
PCCH (DL)	DTCH (UL)
DCCH (BI)	DTCH (DL)
CCCH (BI)	

- BCCH (Broadcast Control Channel)
- přenos řídicích informací ke všem uživatelům buňky.
- PCCH (Paging Control Channel)
- informuje uživatele o příchozím hovoru/zprávě.
- DCCH (Dedicated Control Channel)
- přenos signalizace pro konkrétní UE.
- CCCH (Common Control Channel)
- přenos signalizace pro UE během sestavování spojení.
- DTCH (Dedicated Traffic Channel)
- přenos dat vyhrazený jednomu uživateli.
- CTCH (Common Traffic Channel)
- přenos dat pro skupinu uživatelů.

TRANSPORTNÍ KANÁLY

Používají se na rozhraní mezi fyzickou a MAC vrstvou. Na rozdíl od logických jsou všechny transportní kanály jednosměrné (pouze UL nebo DL). Nerozlišují mezi přenosem uživatelských dat a řídicích informací. Dělí se na společné kanály (Common Transport Channels) a vyhrazené kanály (Dedicated Transport Channels), viz Tab. 2-4.

Tab. 2-4: Transportní kanály v UMTS

Transportní kanály	
Vyhrazené kanály	Společné kanály
DCH (UL)	BCH (DL)
DCH (DL)	RACH (UL)
	FACH (DL)
	PCH (DL)
	CPCH (UL)
	DSCH (DL)

- DCH (Dedicated Channel)
- přenos dat i signalizace konkrétního uživatele.
- BCH (Broadcast Channel)
- přenos řídicích informací z kanálu BCCH ke všem uživatelům.
- PCH (Paging Channel)
- přenos vyvolávací informace z kanálu PCCH pro konkrétní UE.
- RACH (Random Access Channel)
- přenos dat služeb s nízkými požadavky na kvalitu.
- FACH (Forward Access Channel)
- přenos dat jako RACH, přenos řídicích logických kanálů.
- CPCH (Common Packet Channel)
- obdoba RACH, vhodné pro delší pakety.
- DSCH (Downlink Shared Channel)
- sdílený přenos paketových dat.
- HS-DSCH (High Speed DSCH)
- sdílený přenos paketů pro technologii HSDPA (Release 5).

FYZICKÉ KANÁLY

Používají se k přenosu datových signálů přes rádiové rozhraní.

Jsou definovány pomocí následujících parametrů:

- kmitočet nosné,
- skramblovací kód,
- rozprostírací kód,
- doba trvání.

Fyzické kanály se stejně jako transportní kanály rozdělují na společné (sdíleny několika UE) a vyhrazené (přiděleny pro jednotlivá spojení). Navíc se ještě dělí na fyzické kanály přenášející transportní kanály a fyzické kanály potřebné pro řízení systému, jak je uvedeno v Tab. 2-5.

Tab. 2-5: Fyzické kanály v UMTS

Fyzické kanály			
Pro přenos transportních kanálů		Potřebné pro řízení systému	
Vyhrazené kanály	Společné kanály	Vyhrazené kanály	Společné kanály
DPDCH (UL)	PRACH (UL)	DPCCH (UL)	CSICH (DL)
DPDCH (DL)	PCPCH (UL)	DPCCH (DL)	CPICH (DL)
	P-CCPCH (DL)		SCH (DL)
	S-CCPCH (DL)		AICH (DL)
	PDSCH (DL)		AP-AICH (DL)
			CD/CA-ICH (DL)
			PICH (DL)

DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)

- přenos kanálu DCH.

HS-DPCCH (High Speed DPCCH)

- přenos signalizace kanálu HS-DSCH v UL.

P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel)

- přenos kanálu BCH.

S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel)

- přenos PCH a FACH.

PRACH (Physical Random Access Channel)

- přenos kanálu RACH.

PCPCH (Physical Common Packet Channel)

- přenos kanálu CPCH.

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)

- přenos kanálu DSCH.

HS-PDSCH (High Speed PDSCH)

- přenos kanálu HS-DSCH.

HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel)

- přenos signalizace HS-DSCH v DL.

DPCCH (Dedicated Physical Control Channel)

- přenos signalizace fyzické vrstvy.

SCH (Synchronisation Channel)

- synchronizace, přenos měřených parametrů buněk.

CPICH (Common Pilot Channel)

- měření výkonu buňky pro UE, definuje velikost buňky.

AICH (Acquisition Indicator Channel)

- indikuje úspěšnost získání kódu pro PRACH.

AP-AICH (CPCH Access Preamble AICH)

- indikuje úspěšnost získání kódu pro PCPCH.

CD/CA-ICH (CPCH Collision Detection/Channel Assignment Indicator Channel)

- indikátor stavů CPCH.

CSICH (CPCH Status Indicator Channel)

- indikátor dostupnosti kódu pro PCPCH.

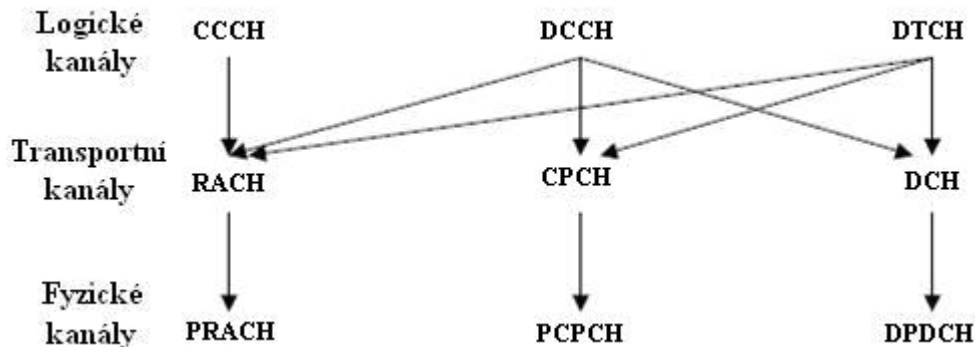
PICH (Paging Indicator Channel)

- indikátor vyvolávacího kanálu (informace pro UE).

MAPOVÁNÍ KANÁLŮ

Díky struktuře protokolu rádiového rozhraní rozdělené na tři skupiny kanálů mohou operátoři ovládat datové toky mezi vrstvami stanovením vhodného mapování mezi těmito skupinami kanálů. Jeden logický kanál pak může být použit pro různé typy přenosů, různé přenosové rychlosti a kvalitu. Na Obr. 2-5 a Obr. 2-6 je přehled možného mapování logických, transportních a fyzických kanálů pro uplink a downlink.

Transportní kanál, do kterého má být mapován logický kanál, je stanoven SRNC. **Výběr typu transportního kanálu** závisí na několika parametrech – nejdůležitější jsou typ služby, zatížení společných kanálů, úroveň interferencí na rádiovém rozhraní a objem přenášených dat.



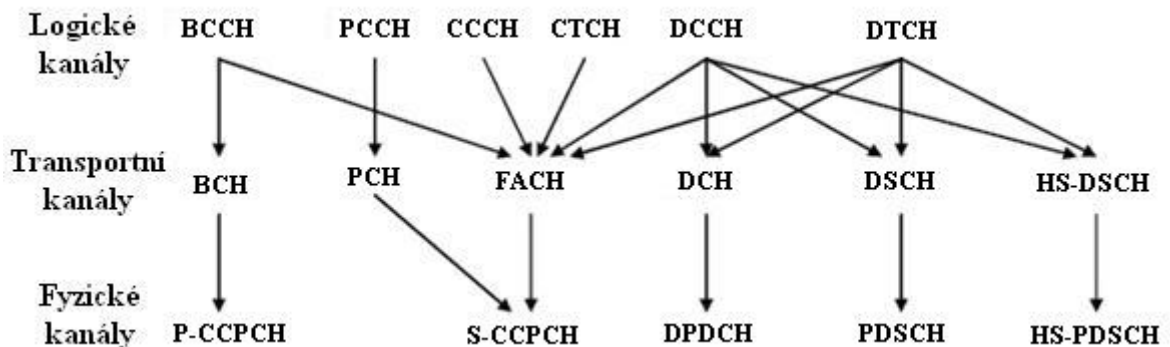
Obr. 2-5: Mapování kanálů ve směru uplink

Ve směru uplink je transportní kanál DCH mapován pouze do fyzického kanálu DPDCH. DPCCH přenáší pouze informace fyzické vrstvy a nepatří tak k žádnému transportnímu kanálu.

Kanál **DCH** má relativně pomalou počáteční inicializaci. Avšak po této proceduře zaručuje splnění přísných časových požadavků. Navíc je ještě mapován na DPDCH, který využívá regulaci výkonu uzavřenou smyčkou, což zajišťuje vyšší efektivitu využívání výkonu a lepší blokovou chybovost. Díky tomu je kanál DCH vhodný zejména pro služby s přísnými časovými nároky (např. real-time služby), které přenáší relativně souvislé toky dat.

Pro nesouvislé toky dat však DCH není příliš efektivní - v tomto případě je lepší použít kanály **RACH** nebo **CPCH**, které nevyžadují žádnou inicializaci a neuskutečňují žádný přenos během neaktivních intervalů. Přístup k těmto kanálům je však založen na "soupeření", takže není možné splnit přísné časové nároky a kanály RACH a CPCH jsou tak vhodné jen pro služby neběžící v reálném čase). Výběr mezi RACH a CPCH bývá závislý na délce přenášených paketů a na požadované chybovosti. RACH vyhovuje přenášení krátkých paketů, které by měly tolerovat vyšší blokovou

chybovost způsobenou regulací výkonu otevřenou smyčkou. CPCH je vhodný pro delší pakety s nižší požadovanou chybovostí, poskytovanou řízením výkonu uzavřenou smyčkou.



Obr. 2-6: Mapování kanálů ve směru downlink

Ve směru downlink jsou kritéria výběru transportního kanálu podobná jako ve směru uplink, založená na objemu přenášených dat a požadavcích na zpoždění. Real-time služby jsou běžně mapovány do **DCH** kanálu, zatímco nespojitě datové toky s nižšími nároky na zpoždění využívají **FACH** nebo sdílené kanály **DSCH** či **HS-DSCH**.

Mapování kanálů může být dynamické a může se měnit během spojení. To umožňuje vyšší flexibilitu a efektivitu využívání omezených rádiových zdrojů a zároveň dodržení servisních omezení. Například pro nesouvislé toky dat bez velkých nároků na zpoždění (např. přístup na Internet) je možné přepínat mezi používáním **DCH** v aktivních periodách (při stahování obsahu stránky) a **RACH/FACH** v neaktivních periodách (když uživatel čte staženou stránku a nepřenáší tak data). To je obzvláště důležité z hlediska spotřeby kódů, protože je neefektivní, aby určitá kódová sekvence byla přidělena neaktivnímu uživateli. Procedura, která umožňuje takovéto změny transportních kanálů, se nazývá přepínání typu transportních kanálů (Transport Channel Type Switching) a je spouštěna na základě monitorování přenášených objemů dat. Například když množství dat ve vyrovnávací paměti uživatelského zařízení překročí určité množství, je alokován **DCH** kanál. Naopak, pokud je množství dat v paměti po určitou dobu pod stanovenou hodnotou, je kanál **DCH** uvolněn a **UE** musí pro vysílání dalších dat použít **RACH/FACH** kanály.

Kanály **PCH** a **FACH** jsou multiplexovány do jednoho (**S-CCPCH**), to se provádí z důvodu úspory vyzářeného výkonu z **Node B**. Signály totiž musí být vysílány s vysokou výkonovou úrovní, aby byly dosažitelné i pro **UE** na okrajích buňky [8], [4].

3 OPTIMALIZAČNÍ PROCES V UTRAN

Úlohou optimalizace je poskytovat automatizované a manuální prostředky pro zlepšení výkonnosti sítě. Jejím účelem je řešit vztah mezi změřenými parametry sítě a stanovenými požadavky QoS.

V současnosti jsou spouštěny sítě třetí generace a s tím souvisí postupný přechod od hlasových služeb k datovým službám. Je nutné efektivně využívat současné GPRS sítě a zároveň vhodně nastavit a odladit 3G sítě a služby.

Provozní třídy a uživatelské priority v UMTS spolu se samotnými přístupovými technologiemi tvoří dvě nejvýznamnější záležitosti při návrhu WCDMA 3G systému. Úkolem operátorů je najít vhodný kompromis kapacity a pokrytí a zároveň poskytovat kvalitní služby. Řídicí systém sítě (NMS, Network Management System) by měl nejen rozpoznat nedostatek kapacity v aktuální síti, ale i potenciál pro zavádění datových služeb tam, kde zatím nejsou.

System UMTS, stejně jako GSM, potřebuje průběžně monitorovat a optimalizovat, protože poloha uživatelů a zátěž se neustále mění. U UMTS je to ještě důležitější, protože zátěž se může měnit ve velkém rozsahu a tyto změny přímo ovlivňují kvalitu služeb v rádiové síti.

Parametry, které by měly být sledovány a optimalizovány, jsou například:

- provozní zátěž,
- kolísání provozní zátěže,
- typ (povaha) zátěže,
- podíl soft handoveru,
- průměrný vysílaný výkon,
- průměrný přijímaný výkon,
- počet odmítnutých (zahozených) hovorů,
- úroveň rušení,
- počet handoverů na buňku,
- mezisystémové handovery,
- přenosová kapacita,
- bitová a rámcová chybovost.

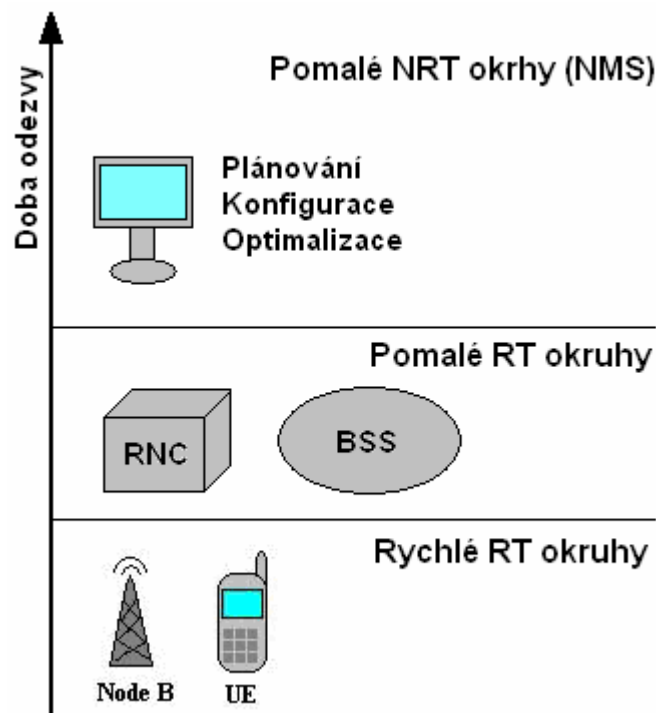
3.1 Struktura optimalizačního procesu

Při provozu 3G sítí a služeb může být řízení přístupové části rozděleno do tří úrovní, viz Obr. 3-1. Nejvyšší řídicí vrstva je pro statistickou optimalizaci neběžící v reálném čase (NRT) a nastavení rádiové sítě založeném na měřených datech ze síťových prvků. Optimalizace je zde realizována úpravou nastavení konfiguračních parametrů. Sběr měřicích dat a konfigurace je realizována automaticky uvnitř NMS (network management system). Tento okruh statisticky řídí chování ostatních nižších řídicích okruhů, které jsou blíže k síťovým prvkům. Okruh také umožňuje automatizované řešení problémů, kdy mohou být poruchy opraveny díky doručování informací z chybových hlášení a zpráv k optimalizačnímu procesu a ke správě konfigurace (CM, Configuration Management) mezi NMS moduly.

Dvě nižší vrstvy na Obr. 3-1 se skládají z uzavřených okruhů pro práci v reálném čase (**RT**) v základnových stanicích (Node B) a kontrolerech (RNC). Hlavní rozdíl mezi těmito dvěma vrstvami je v době potřebné pro provedení rozhodnutí.

Pomalé RT optimalizační okruhy ovládají dynamické řízení mezisystémového řízení, samoregulaci rádiové sítě (např. limity zátěže), atd. Tyto okruhy mohou být umístěny v příslušném síťovém prvku nebo v řídicím systému sítě (NMS). Hlavní výhoda umístění v NMS je možnost použít statistická data zahrnující celou síť.

Rychlé RT řídicí okruhy souvisí s rychlým řízením výkonu, rychlou ochranou proti zahlcení (congestion control), s přizpůsobením spoje a s alokací kanálů. Tyto okruhy mají dopad na plánování rádiové sítě - modelování regulace výkonu, provádění handoveru atd.



Obr. 3-1: Hierarchie optimalizačních smyček – real-time (RT) a non-real-time (NRT) okruhy

RT okruhy jsou také nazývány algoritmy řízení využívání rádiových zdrojů - **RRM** (viz následující kapitola), které jsou zodpovědné za správné fungování sítě. Toho je dosaženo poskytováním souborů parametrů pro řízení sítě v rámci kompromisu kapacita - pokrytí - cena. Konkrétní provedení tohoto kompromisu určuje operátor.

RRM (RT, dvě nižší vrstvy) je v podstatě optimalizace v reálném čase. Statistické optimalizační okruhy (NRT, nejvyšší vrstva) jsou potřeba pro nastavení limitů RRM [6].

3.2 Řízení využívání rádiových zdrojů (RRM)

Soubor algoritmů určených pro dosažení optimálního využívání rádiového rozhraní, garantování určité QoS, udržování plánovaného pokrytí a poskytování vysoké přenosové kapacity.

Tyto požadavky jsou v 3G sítích relativně protikladné, například kapacita může být zvětšena zmenšením pokrytí nebo snížením požadované QoS. Plánování rádiových sítí zajišťuje hrubé nastavení těchto parametrů, zatímco optimalizace (RRM) má na starosti jemné doladění pro optimální funkčnost.

U WCDMA uživatelé komunikují na stejné frekvenci pomocí různých rozprostíracích kódů, které často nejsou dokonale ortogonální. Následkem toho vzniká mezi uživateli přirozená vazba, což dělá vlastnosti daného spojení mnohem víc závislé na chování ostatních uživatelů, sdílejících rádiové prostředí (ve srovnání s jinými přístupovými technikami, jako jsou FDMA, TDMA). Funkce RRM jsou tedy u WCDMA důležité, protože zde **neexistuje pevná hodnota maximální kapacity** - ta je pevně spojena s úrovní rušení v daném rádiovém prostředí. Důležitost RRM proto stoupá s počtem uživatelů v systému. Funkce RRM mohou být implementovány různými algoritmy, což se ve výsledku projevuje na celkové účinnosti systému a ceně infrastruktury operátora. Tyto strategie řízení rádiových zdrojů nepodléhají žádné standardizaci, jejich implementace záleží na výrobcích a operátorech.

RRM algoritmy mohou být **centralizované** (v síťových entitách, např. RNC) nebo **distribuované** (v uživatelských terminálech). Centralizované řešení poskytuje lepší výkon, protože v RNC je k dispozici většina pro RRM důležitých informací o uživateli zapojených do procesu. Avšak ve směru uplink je pro vykonávání RRM algoritmů centralizovaným způsobem potřeba většího množství signalizace. Výsledné řešení pro uplink specifikované 3GPP je kombinací obou způsobů - UE si určuje okamžitou přenosovou rychlost, ale nesmí překročit maximální povolenou přenosovou rychlost stanovenou sítí. RRM je implementováno softwarově a **vykonáváno RNC**.

RRM je zodpovědné za efektivní využívání zdrojů UTRAN, zejména na rádiovém rozhraní. Jeho cílem je dosažení co nejvyšší kvality služeb a pokrytí pro všechny uživatele, bez ohledu na to, jakou službu využívají.

Funkce RRM:

Funkce RRM jsou zodpovědné za rozhodování o volbě různých parametrů ovlivňujících chování rádiového rozhraní.

U rádiového rozhraní můžeme určit čtyři **hlavní parametry**:

- 1) Počet aktivních účastníků, N (používají určitou službu).
- 2) Počet současně komunikujících účastníků, n (právě přenášejí data).
- 3) Odpovídající přenosová rychlost dat jednotlivých účastníků, $R_{b,i}$.
- 4) Úroveň vysílaného výkonu jednotlivých účastníků, $P_{T,i}$.

Přístupová síť je dynamický systém, obsahuje mnoho zdrojů způsobujících dynamické chování v různých časových měřítcích.

- Počet uživatelů M se mění v závislosti na každodenním pohybu uživatelů (například nárůst počtu uživatelů v centrech měst během pracovní doby).
- Počet aktivních uživatelů N se mění spolu s M , ale také podle charakteristik vzniku hovorů/relací jednotlivých využívaných služeb.

- Počet současně komunikujících uživatelů n se mění spolu s M a N , ale také podle provozních charakteristik jednotlivých služeb (například přenos videa představuje mnohem vyšší aktivitu než prohlížení webových stránek, CBR/VBR služby atd.).
- Všichni tito uživatelé se pohybují, takže podmínky šíření se mění v čase. Tyto podmínky zahrnují přenosový útlum (v závislosti na vzdálenosti UE a Node B), pomalý únik, rychlý únik, ale také rychlost pohybu uživatelského zařízení.
- Buňka je ovlivňována i okolními buňkami, tzv. **mezibuňkovým rušením**.

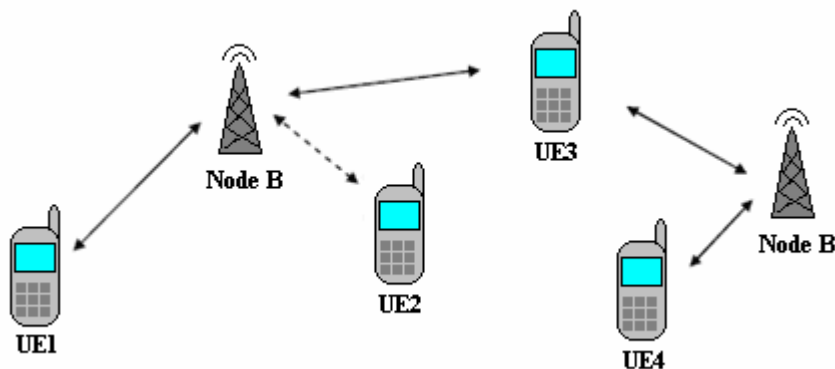
Funkce RRM mohou být klasifikovány podle časového rozsahu, během kterého jsou aktivovány a vykonány. Tab. 3-1 zachycuje některé funkce RRM a jejich typický časový rozsah mezi po sobě jdoucími aktivacemi algoritmu (tj. doba mezi dokončením akce algoritmu a následnou opětovnou aktivací stejného algoritmu).

Tab. 3-1: Časový rozsah funkcí RRM

Časový rozsah	RRM funkce
1 slot	Řízení výkonu vnitřní smyčkou
1 rámeček	UE-MAC (řízení přenos. rychlosti)
1 rámeček	Plánování paketů
10 – x000 rámečků	Řízení přístupu
10 – x000 rámečků	Handover
10 – x000 rámečků	Správa kódů
10 – x000 rámečků	Kontrola zahlcení
10 – x000 rámečků	Řízení výkonu vnější smyčkou

Interakce mezi funkcemi RRM

Celkové chování rádiového rozhraní v daný čas je výsledkem rozhodování různých funkcí RRM, které musí vzájemně spolupracovat. Příklad takové spolupráce je na Obr. 3-2. Uživatel 1 používá vyhrazený kanál pro hlasovou komunikaci, řízení výkonu vnitřní smyčkou zajišťuje kvalitu jeho spojení. Uživatel 2 žádá o sestavení videokonference, o jeho přijetí nebo odmítnutí rozhoduje algoritmus řízení přístupu. Uživatel 3 využívá soft handover, přidává sousední buňku do svého seznamu aktivních buněk. Uživatel 4 přijímá email, což řídí plánovač paketů. Pokud po povolení přístupu uživatele 2 stoupne úroveň rušení víc, než algoritmus řízení přístupu předpokládal, budou aktivovány mechanismy řízení zahlcení, které sníží přenosovou rychlost dat uživatele 4 (email) [1], [8].



Obr. 3-2: Ilustrace k příkladu interakce funkcí RRM

3.2.1 Kapacita rádiového rozhraní

Jak už bylo zmíněno, v UMTS není kapacita buňky pevná, ale závisí na úrovni rušení. Jak narůstá počet aktivních uživatelů v buňce, zvyšuje se i úroveň rušení pro všechny uživatele v buňce a také pro uživatele sousedních buněk, protože tito také sdílejí stejnou frekvenci. Uživatel využívající vyšší přenosové rychlosti dat musí vysílat s vyšším výkonem a způsobuje tak větší úroveň širokopásmového rušení než uživatel s nižší přenosovou rychlostí dat. Rozhodujícím faktorem je také E_b/N_0 , odstup energie bitu od výkonové spektrální hustoty šumu, což vyjadřuje požadavky uživatele na odstup signálu od šumu u přijímače.

Downlink, samotná buňka

Pro n uživatelů přijímajících signál v jedné buňce, musí být splněna nerovnost:

$$\frac{\frac{P_{T,i}}{L_{p,i}} \frac{W}{R_{b,i}}}{P_N + \rho \frac{P_T - P_{T,i}}{L_{p,i}}} \geq \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i, \quad (3.1)$$

$$P_T = P_p + \sum_{i=1}^n P_{T,i}, \quad (3.2)$$

P_T je výkon základnové stanice, $P_{T,i}$ je výkon přiřazený i -tému uživateli, $L_{p,i}$ je přenosový útlum signálu i -tého uživatele a P_p je výkon přidělený sdíleným řídicím kanálům.

Uplink, samotná buňka

Pro n současně komunikujících uživatelů (využívajících stejný typ služby), musí platit:

$$n < 1 + \frac{\frac{W}{R_{b,i}}}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i}, \quad (3.3)$$

Pokud není splněna podmínka

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{W}{R_{b,i}} + 1 \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i} < 1, \quad (3.4)$$

nemůže všech n současných uživatelů dosáhnout na jimi požadované hodnoty E_b/N_0 .

DÝCHÁNÍ BUŇKY

Kapacita a pokrytí spolu u WCDMA sítí úzce souvisí. Pokrytí přímo souvisí s dostupností výkonu, takže výkonové požadavky by měly být v souladu s plánovaným pokrytím.

Výkon přijímaný od uživatele u základnové stanice bude díky přenosovému útlumu vždy nižší, než maximální vysílací výkon uživatele ($P_{T,max}$), ale musí být dostatečný pro dosažení cílové hodnoty E_b/N_0 . Požadavky na vysílací výkon uživatele definuje vzorec (3.5):

$$P_{T,i} = \frac{L_{p,i} P_N}{\left[\frac{W}{R_{b,i}} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i + 1 \right] \left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{W}{R_{b,i}} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i + 1} \right]} \quad (3.5)$$

I-tý uživatel je ve „výpadku“ (outage), jestliže jeho požadovaný vysílací výkon $P_{T,i}$ je vyšší než $P_{T,max}$ (max. vysílací výkon uživatele), což lze vyjádřit také jakože hodnota E_b/N_0 uživatele na straně základnové stanice je pod cílovou hodnotou. Pokud tato situace trvá určitou dobu, je uživatel označen jako nacházející se mimo pokrytí a nemá dostupné žádné služby.

Pravděpodobnost, že se uživatel dostane do „výpadku“ lze určit pomocí rovnice (3.6), která udává pravděpodobnost, že požadovaný výkon uživatele bude větší než maximální, což nastane pokud útlum signálu uživatele budou větší, než největší možný útlum.

$$\Pr(P_{T,i} > P_{T,max}) = \sum_{n=1}^M \Pr \left(L_{p,i} > \frac{P_{T,max}}{P_N} \left[\frac{W}{R_{b,i}} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i + 1 \right] \left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{W}{R_{b,i}} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i + 1} \right] \right) \cdot p_n, \quad (3.6)$$

p_n je pravděpodobnost současného vysílání n uživatelů.

Z rovnice vyplývá, že při daném počtu n současně vysílajících uživatelů s danou datovou přenosovou rychlostí a požadavky na kvalitu existuje **maximální možná hodnota útlumu signálu**, při které lze ještě dosáhnout požadavků na kvalitu

jednotlivých spojení. V této situaci tedy přenosový útlum určuje pravděpodobnost výpadku.

Zmíněnou hodnotu maximálního přípustného útlumu signálu uživatele vyjadřuje vzorec (3.7):

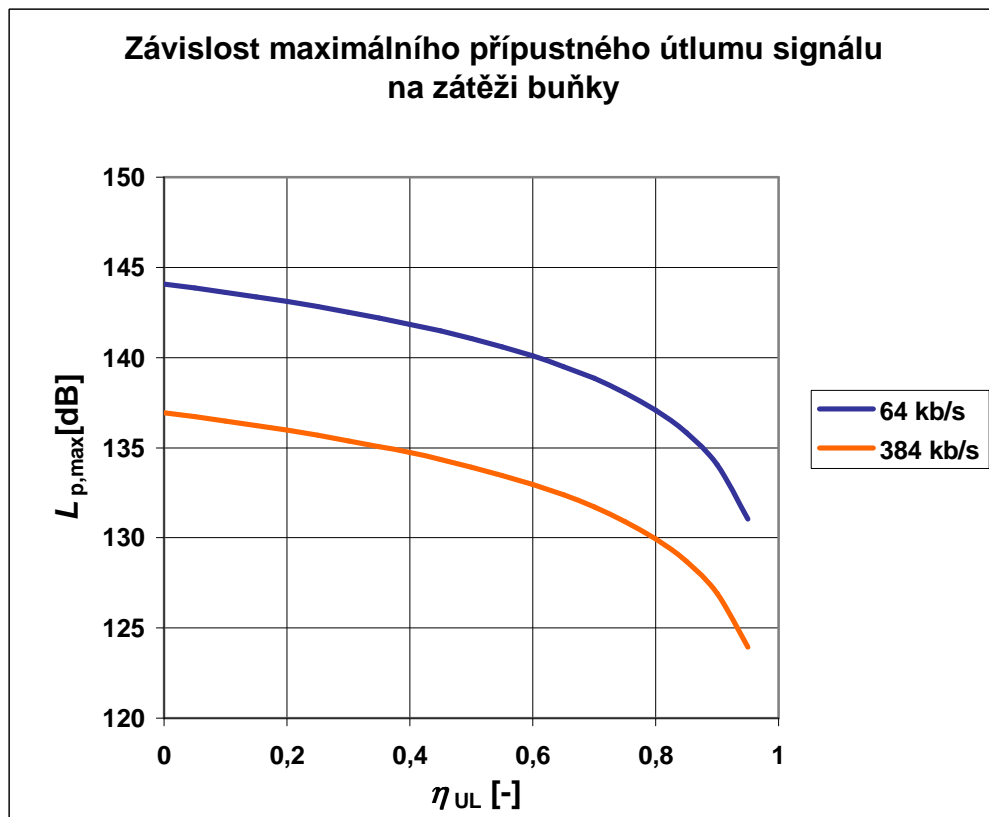
$$L_{p,\max} = \frac{P_{T,\max}}{P_N} \left[\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_i R_{b,i}} + 1 \right] (1 - \eta_{UL}). \quad (3.7)$$

Pokud zátěž v buňce η_{UL} vzroste, sníží se maximální přípustný útlum a tím i rozsah pokrytí a naopak, pokud zátěž klesne, pokrytí se zvětší. Vzniká tak efekt **dýchání buňky**.

Příklad:

Nepohybující se uživatel: $(E_b/N_0)_{\min} = 3 \text{ dB}$, $P_{T,\max} = 21 \text{ dBm}$, $R_b = 64 \text{ kb/s}$ a 384 kb/s , $L_p = 135 \text{ dB}$, $P_N = -108 \text{ dBm} = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ mW}$.

Graf na Obr. 3-3 zobrazuje maximální velikost útlumu signálu, který si uživatelé mohou dovolit, aniž by jejich hodnota E_b/N_0 klesla pod minimální požadovanou hodnotu, v závislosti na zátěži buňky.



Obr. 3-3: Maximální možný útlum signálu uživatele v závislosti na zátěži buňky

Zátěž buňky η_{UL} je závislá na počtu současně vysílajících uživatelů a jejich datové přenosové rychlosti. **S rostoucí zátěží buňky se snižuje maximální přípustný útlum signálu**, který si uživatelé mohou „dovolit“. V tomto příkladu se uživatel nepohybuje a přenosový útlum jeho signálu je 135 dB. V okamžiku, kdy maximální dovolený útlum klesne pod hodnotu útlumu tohoto uživatele se uživatel nachází ve výpadku (outage) – již vysílá s maximálním možným vysílacím výkonem a přesto při současné zátěži buňky nedokáže dosáhnout požadované hodnoty E_b/N_0 u přijímače Node B. Pokud zátěž opět klesne, uživatel může opět navázat komunikaci. Vzniká tak dýchání buňky.

Maximální přípustný útlum signálu rovněž závisí na datové přenosové rychlosti uživatele (kvůli nárokům na vysílací výkon). Při vyšší přenosové rychlosti se tak sníží rozsah pokrytí (klesne maximální přípustný útlum signálu uživatele) [8].

3.2.2 Řízení přístupu

Řízení přístupu (Admission Control) je používáno pro opatření zdrojů pro **garantované služby v reálném čase**, například hovorové služby. Když uživatel požaduje zdroje, řídicí přístupový algoritmus ověří, zda může vyhovět žádosti zkontrolováním vytíženosti buňky a dostupných WCDMA přenosových kapacit. Pokud jsou zdroje dostupné, RNC je přidělí a rezervuje a poté aktualizuje kontrolu zátěže a vydá povolení uživateli. RNC v tomto bodě rozhodne, jaký typ kanálu uživateli přidělí. Pokud zdroje nejsou k dispozici, RNC žádost odmítne, zařadí do fronty nebo nabídne jiné zdroje, které jsou dostupné. Řízení přístupu je navrženo pro dosažení plánované úrovně zátěže, umístěné s rozumnou rezervou pod maximálním množstvím dostupných zdrojů. Typická hodnota je 50 - 70%.

Rozhodovací proces pro řízení přístupu se nazývá CAC (Call Admission Control) a je vykonáván RNC. Existují také procesy řízení přístupu vykonávané páteří sítě. Tuto úlohu vykonává MSC v CS doméně a SGSN/GGSN v PS doméně.

Toto je jeden z nejnáročnějších aspektů zavádění systému UMTS (v GSM je CAC jednodušší - rychlá kontrola zda je volný nějaký timeslot, pokud ano je hovor spojen). **Provádí se mnoho měření**, která ovlivňují rozhodování o přijetí nového uživatele nebo změně datové rychlosti existujícího uživatele.

Tato měření mohou zahrnovat:

- přijímanou intenzitu signálu místních a okolních buněk,
- odhadovanou bitovou chybovost místních a okolních buněk,
- přijímanou úroveň rušení,
- celkový vysílací výkon buňky.

Síť musí vědět předem, jakou přenosovou rychlost dat uživatel vyžaduje a odhadovat jakou změnu úrovně rušení to v buňce způsobí. Pokud bude přírůstek rušení příliš vysoký, způsobí to příliš rušení pro ostatní uživatele a kvalita jejich služeb bude redukována. **WCDMA pracuje s rámci o délce 10 ms** a je proto možné často upravovat aktuální přenosovou rychlost a QoS uživatelů, což však způsobuje velkou zátěž systému. CAC také musí brát ohled na zatížení okolních buněk - musí zajistit aby uživatelé pohybující se mezi buňkami neztratili spojení [1].

UPLINK

Ve směru uplink představuje nové spojení zvýšení výkonu přijatého u Node B. To zvyšuje rušení již existujících spojení a v závislosti na velikosti rušení nemusí mít některé vzdálené UE dostatečný výkon pro překonání této úrovně rušení a budou tak vyřazeny z buňky. Proto algoritmy řízení přístupu operují s určitou **maximální úrovní rušení**, při které nebudou terminály na okraji buňky "přehlušeny". Maximální nárůst rušení může být definován jako maximální rozsah rušení nebo jako **maximální celková zátěž η_{UL}** , která může být snadno vztažena k počtu spojení v buňce. Vztah mezi přírůstkem rušení a zátěží buňky definuje vzorec (3.8):

$$\Delta I = \frac{1}{1 - \eta_{UL}}. \quad (3.8)$$

Například při zátěži $\eta_{UL} = 0,5$ vzroste úroveň rušení I dvakrát (o 3 dB).

Z pohledu implementace může být řízení přístupu rozděleno na **metody založené na statistickém modelování** a na **metody založené na měření**, podle toho, zda využívají odhady zátěže ve směru uplink založené na počtu přijatých uživatelů nebo přímé měření zátěže. Rozhodování mezi metodami záleží na možnostech měření v síti a na požadované složitosti algoritmů.

Dostupnost vysílacího výkonu

Požadovaný vysílací výkon mobilní stanice musí být menší, než maximální výkon s jakým je stanice schopna vysílat. Viz kapitola 3.2.1, Dýchání buňky.

Řízení přístupu na základě počtu uživatelů

Tento algoritmus představuje velmi jednoduchý přístup řízení přístupu, založený pouze na počtech uživatelů v systému (úroveň rušení není ani měřena ani odhadována). Algoritmus předpokládá, že každý uživatel spotřebovává určité množství rádiových zdrojů (ekvivalentních jednotek RREU). Tato jednotka odpovídá uživateli přenášejícímu data referenční rychlostí (například přenosovou rychlostí hovorové služby). Různé služby tak vyžadují různé množství jednotek RREU. Maximální počet uživatelů, kteří mohou být přijati je pak dán určitou přístupovou úrovní odpovídající maximálnímu povolenému množství ekvivalentních jednotek R^* . Potom, s N uživateli již přijatými v systému, je žádost uživatele $(N+1)$ přijata pokud platí podmínka:

$$\sum_{i=1}^N R_i + R_{N+1} \leq R^*. \quad (3.9)$$

R_i je počet RREU jednotek příslušících i -tému uživateli v buňce. Maximální počet jednotek R^* souvisí s maximální přijatelnou zátěží buňky. Jelikož algoritmus nebere v úvahu aktuální úroveň rušení v buňce, budou se vyskytovat nesprávná přijetí a odmítnutí uživatelů, nicméně to je vyváжено jednoduchou implementací bez potřeby měření.

Řízení přístupu založené na měření

Přesná charakteristika rádiového rozhraní ve směru uplink pro řízení přístupu může být získána měřením **zátěže buňky** ve směru uplink (uplink load factor) η_{UL} . Tu lze určit z celkového výkonu měřeného na daném Node B, P_{TOT} , a výkonu šumu P_N :

$$\eta_{UL} = 1 - \frac{P_N}{P_R + \chi + P_N} = 1 - \frac{P_N}{P_{TOT}}, \quad (3.10)$$

P_R je celkový výkon (z vlastní buňky) přijatý u Node B, χ je mezibuňkové rušení (rušení od okolních buněk). Potom, za předpokladu že je v buňce N přijatých uživatelů, bude žádost o přijetí uživatele $(N+1)$ přijata pokud platí podmínka:

$$\eta_{UL} + \Delta\eta \leq \eta_{max}. \quad (3.11)$$

η_{max} je maximální povolená úroveň zátěže, $\Delta\eta$ je změna zátěže buňky způsobená uživatelem $N+1$.

$\Delta\eta$ může být stanovena pomocí datové přenosové rychlosti uživatele $R_{b,N+1}$, cílové hodnoty E_b/N_0 uživatele $N+1$ a faktoru aktivity uživatele α_{N+1} (volí se 0,67 pro řeč a 1 pro data), viz vztah (3.12), **zátěž způsobená uživatelem:**

$$\Delta\eta = \frac{1+f}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{N+1} \alpha_{N+1} R_{b,N+1}} + 1}, \quad (3.12)$$

f je poměr mezibuňkového rušení a vlastního rušení v buňce.

Řízení přístupu na základě statistických údajů

Namísto měření zátěže buňky je možné velikost zátěže odhadnout podle počtu přijatých uživatelů každé třídy služeb. Toho lze dosáhnout díky vztahu mezi zátěží buňky a počtem momentálních spojení v buňce - při počtu uživatelů N pak podmínka pro přijetí vypadá následovně:

$$\eta_{UL}^S + \Delta\eta^S \leq \eta_{max}. \quad (3.13)$$

Odhad zátěže:

$$\eta_{UL}^S = (1+f) \sum_{i=1}^N \frac{1}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \alpha_i R_{b,i}} + 1}. \quad (3.14)$$

Zvýšení rušení způsobené uživatelem $N+1$, $\Delta\eta^S$, se určí stejně jako u metody na základě měření, vztah (3.12).

Výsledný odhad zátěže η_{UL}^S však bude odlišný od skutečné zátěže buňky, nejen v okamžitých, ale i průměrných hodnotách, pokud jednotlivé parametry při výpočtu nebudou vhodně přizpůsobeny. Při vhodné volbě parametrů dosahuje statistická metoda obdobných výsledků jako metoda založená na měření.

Příklad výpočtu kapacity buňky ve směru uplink:

a) Uživatelé s parametry: $R_{b,i} = 64 \text{ kb/s}$, $(E_B/N_0)_i = 3 \text{ dB} \approx 2$, $f_{DL} = 0$ (samotná buňka), $\alpha_i = 1$ (přenos dat)

Předpokládaná zátěž způsobená jedním uživatelem:

$$\Delta\eta^S = \frac{1+f}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \alpha_i R_{b,i}} + 1} = \frac{1}{\frac{3,84 \cdot 10^6}{2 \cdot 1 \cdot 64000} + 1} = \frac{1}{31} = 0,03226$$

Maximální počet uživatelů:

$$N_{\max} = \eta_{\max} / \Delta\eta^S = 1/0,03226 \approx 31$$

b) Uživatelé s parametry: $R_{b,i} = 128 \text{ kb/s}$, $E_B/N_0 = 3 \text{ dB} \approx 2$

Předpokládaná zátěž způsobená jedním uživatelem:

$$\Delta\eta^S = \frac{1+f}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \alpha_i R_{b,i}} + 1} = \frac{1}{\frac{3,84 \cdot 10^6}{2 \cdot 128000} + 1} = \frac{1}{16} = 0,0625$$

Maximální počet uživatelů:

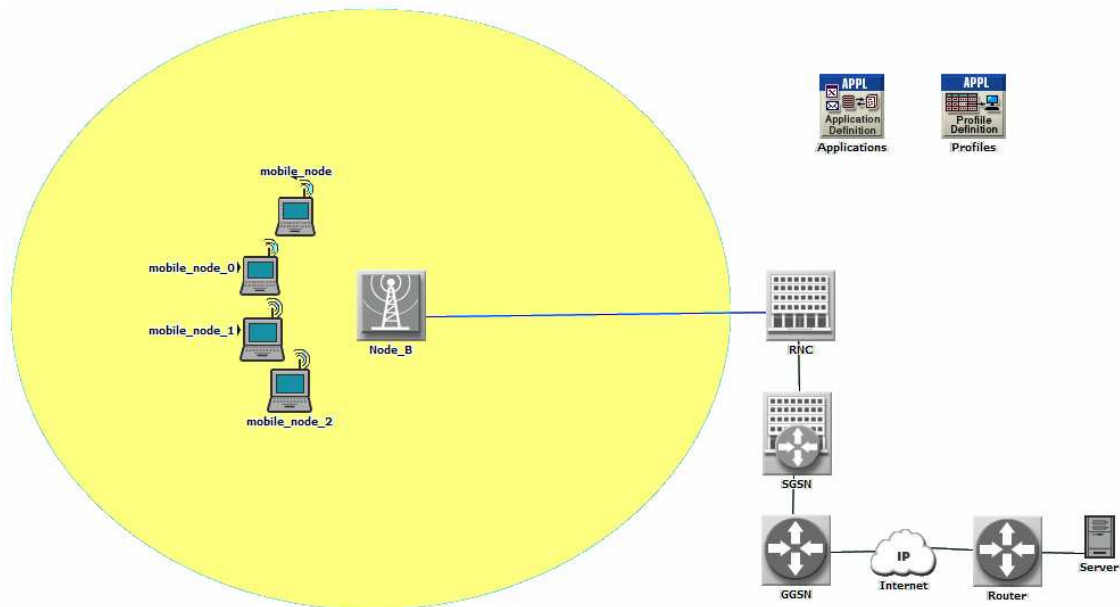
$$N_{\max} = \eta_{\max} / \Delta\eta^S = 1/0,0625 \approx 16$$

V UMTS je přímá souvislost mezi kapacitou sítě a přenosovou rychlostí uživatelských dat – při zdvojnásobení přenosové rychlosti dat všech aplikací v buňce dojde ke snížení kapacity buňky přibližně na polovinu.

Uvedený příklad počítá s maximální zátěží ve směru uplink $\eta_{\max} = 1$, v praxi se však stanovuje maximální zátěž nižší, například 0,7.

Srovnání metody založené na měření a statistické metody

Situace: samotná buňka ($f = 0$, $\chi = 0$), i nepohybujících se uživatelů ($i = \{1, 2, 4\}$) využívajících službu videokonference ($\alpha = 1$) s konstantní přenosovou rychlostí dat $R_{b,i} = 173 \text{ kb/s}$, všichni uživatelé jsou ve stejné vzdálenosti od Node B. Model sítě pro danou situaci je na Obr. 3-4.



Obr. 3-4: Schéma modelové situace

a) Výpočet zátěže buňky metodou založenou na měření

Simulací zadané situace v OPNET Modeleru jsem získal potřebné hodnoty pro výpočet:

$$P_N = -108 \text{ dBm} \approx 1,53 \cdot 10^{-11} \text{ mW}, (E_B/N_0)_i = 3,25 \text{ dB} \approx 2,11$$

$$P_R(1) = -115,944 \text{ dBm} \approx 2,544 \cdot 10^{-12} \text{ mW}$$

$$P_R(2) = -112,757 \text{ dBm} \approx 5,3 \cdot 10^{-12} \text{ mW}$$

$$P_R(4) = -110,11 \text{ dBm} \approx 9,15 \cdot 10^{-12} \text{ mW}$$

V závorce je uveden počet současně aktivních uživatelů.

$$\eta_{UL}(1) = 1 - \frac{P_N}{P_R(1) + P_N} = 1 - \frac{1,53 \cdot 10^{-11}}{2,544 \cdot 10^{-12} + 1,53 \cdot 10^{-11}} = 0,1425$$

$$\eta_{UL}(2) = 1 - \frac{P_N}{P_R(2) + P_N} = 1 - \frac{1,53 \cdot 10^{-11}}{5,3 \cdot 10^{-12} + 1,53 \cdot 10^{-11}} = 0,257$$

$$\eta_{UL}(4) = 1 - \frac{P_N}{P_R(4) + P_N} = 1 - \frac{1,53 \cdot 10^{-11}}{9,15 \cdot 10^{-12} + 1,53 \cdot 10^{-11}} = 0,375$$

b) Výpočet zátěže buňky statistickou metodou

Všichni uživatelé mají stejnou datovou přenosovou rychlost a požadavky na E_B/N_0 , proto stačí vypočítat zátěž způsobenou jedním uživatelem a poté ji vynásobit daným počtem uživatelů.

$$\Delta\eta^s(1) = \frac{1+f}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \alpha_i R_{b,i}} + 1} = \frac{1}{\frac{3,84 \cdot 10^6}{2,11 \cdot 173000} + 1} = 0,0868$$

$$\Delta\eta^s(2) = 2 \cdot \Delta\eta^s(1) = 0,1736$$

$$\Delta\eta^s(4) = 4 \cdot \Delta\eta^s(1) = 0,347$$

Hodnoty získané metodou založenou na měření a statistickou metodou nejsou shodné, s větším počtem uživatelů se však chyba zmenšuje. Je to způsobeno výše zmíněnou nepřesností statistické metody v její základní podobě [8].

DOWNLINK

Řízení přístupu ve směru downlink je založeno na kontrole dostupnosti kódu a vysílacího výkonu, což jsou dva rádiové zdroje využívané každým spojením. Spojení bude přijato (povoleno) pouze pokud jsou oba zdroje dostupné. Stejně jako ve směru uplink může být řízení přístupu ve směru downlink založeno na měření nebo na statistických odhadech.

Řízení přístupu na základě počtu uživatelů

Stejný princip jako ve směru uplink – každý uživatel spotřebovává určité množství ekvivalentních jednotek rádiových zdrojů (RREU) a celkové dostupné množství RREU určuje maximální dostupný výkon Node B. Rovnice podmiňující přijetí uživatele $N+1$ je stejná jako ve směru uplink:

$$\sum_{i=1}^N R_i + R_{N+1} \leq R^* . \quad (3.15)$$

Tento algoritmus je velmi jednoduše implementovatelný, ale obtížné je nastavení maximálního množství možných spojení kvůli neurčitostem v požadavcích na vysílací výkon, způsobeným mobilitou uživatelů, podmínkami prostředí a provozní zátěží v různých situacích.

Řízení přístupu na základě zátěže buňky

Princip je stejný jako u směru uplink. Ve směru downlink může být zátěž vztahena k celkovému vysílacímu výkonu Node B.

Podmínka přijetí uživatele $N+1$:

$$\eta_{DL} + \Delta\eta \leq \eta_{max} . \quad (3.16)$$

Důležitý rozdíl mezi DL a UL je **obtížnost přesného měření zátěže v DL**. Důvodem je **faktor ortogonalitativity ρ** , který závisí na charakteristikách kanálu každého uživatele, takže může být pouze odhadnut v závislosti na uvažovaném prostředí, v němž buňka pracuje ($\rho = 0$ - úplná ortogonalita, $\rho = 1$ - neortogonální signály, typické hodnoty v makrobuňkách bývají 0,4-0,6, v mikrobuňkách cca 0,06) Dalším důvodem je **faktor mezibuňkového rušení f** , který závisí na pozici každého uživatele s ohledem na sousední buňky. Terminály navíc neposílají zprávy o měření mezibuňkového rušení. Díky tomu může být zátěž buňky ve směru downlink pouze odhadnuta, narozdíl od směru uplink, kde může být fyzicky změřena.

Odhad **aktuální zátěže** ve směru downlink:

$$\eta_{DL}^S = \sum_{i=1}^N \frac{\rho + f_{DL}}{W} \cdot \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \alpha_i R_{b,i} + \rho} \quad (3.17)$$

Odhad **nárůstu zátěže** způsobeného přijetím dalšího uživatele:

$$\Delta\eta = \frac{\rho + f_{DL}}{W} \cdot \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{N+1} \alpha_{N+1} R_{b,N+1} + \rho} \quad (3.18)$$

α_i je faktor aktivity uživatele, f_{DL} je odhad poměru mezibuňkového rušení a vlastního rušení buňky, který by měl představovat skutečné chování tohoto parametru.

Maximální zátěž ve směru downlink η_{max} odpovídá maximálnímu výkonu dostupnému u Node B, $P_{T,max}$, podle rovnice (3.19):

$$\eta_{max} = 1 - \frac{P_p + P_N X_n}{P_{T,max}} \quad (3.19)$$

kde P_p je výkon přidělený pilotnímu signálu a sdíleným řídicím kanálům. Parametr X_n závisí na útlumu signálu, požadavcích na kvalitu a přenosové rychlosti dat n současně aktivních uživatelů:

$$X_n = \sum_{i=1}^n \frac{L_{p,i}}{W} \cdot \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i} + \rho} \quad (3.20)$$

Příklad výpočtu maximální dovolené zátěže ve směru downlink:

Uživatelé s parametry: $R_{b,i} = 64$ kb/s, $(E_B/N_0)_i = 3$ dB ≈ 2 , $\rho = 0,4$, $L_{p,i} = 120$ dB $\approx 1 \cdot 10^{12}$

Ostatní parametry: $P_p = 20$ dBm ≈ 100 mW, $P_N = -108$ dBm $\approx 1,5 \cdot 10^{-11}$ mW, $P_{T,max} = 30$ dBm ≈ 1000 mW, $f_{DL} = 0$ (samotná buňka), $\alpha = 1$ (přenos dat)

Zátěž způsobená jedním uživatelem:

$$\Delta\eta = \frac{\rho + f_{DL}}{W} \cdot \frac{1}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \alpha_i R_{b,i} + \rho} = \frac{0,4}{\frac{3,84 \cdot 10^6}{2 \cdot 64000} + 0,4} = \frac{0,4}{20,4} = 0,0196$$

Odhad max. počtu uživatelů $N_{max} = 1/0,0196 \approx 51$

Výpočet maximální zátěže pro 51 uživatelů, η_{\max} :

$$X_n = \sum_{i=1}^N \frac{L_{p,i}}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i} R_{b,i}} + \rho = \sum_{i=1}^{51} \frac{1 \cdot 10^{12}}{\frac{3,84 \cdot 10^6}{2 \cdot 64000} + 0,4} = 51 \cdot \frac{1 \cdot 10^{12}}{30,4} = 51 \cdot 3,2895 \cdot 10^{10} = 1,645 \cdot 10^{12}$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{P_p + P_N X_n}{P_{T,\max}} = 1 - \frac{100 + 1,53 \cdot 10^{-11} \cdot 1,645 \cdot 10^{12}}{1000} = 1 - \frac{125,165}{1000} = 1 - 0,125 = 0,875$$

Oprava max. počtu uživatelů $N_{\max} = 0,875/0,196 \approx 44$

Výpočet maximální zátěže pro 44 uživatelů, η_{\max} :

$$X_n = \sum_{i=1}^N \frac{L_{p,i}}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i} R_{b,i}} + \rho = \sum_{i=1}^{44} \frac{1 \cdot 10^{12}}{\frac{3,84 \cdot 10^6}{2 \cdot 64000} + 0,4} = 44 \cdot \frac{1 \cdot 10^{12}}{30,4} = 44 \cdot 3,28947 \cdot 10^{10} = 1,447 \cdot 10^{12}$$

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{P_p + P_N X_n}{P_{T,\max}} = 1 - \frac{100 + 1,53 \cdot 10^{-11} \cdot 1,447 \cdot 10^{12}}{1000} = 1 - \frac{122,144}{1000} = 1 - 0,122 = 0,878$$

$N_{\max} = 0,878/0,0196 \approx 44$

Hodnota faktoru X_n počítaná pro 51 a 44 uživatelů se téměř neliší, příslušná hodnota maximální zátěže $\eta_{\max} \approx 0,88$ je tedy konečná a maximální počet uživatelů ve směru downlink bude 44.

Dostupnost vysílacího výkonu

Ve směru downlink je dostupný vysílací výkon sdílen mezi všechny spojení daného Node B. Následkem toho každé nové spojení, kromě zvýšení rušení, také sníží celkový dostupný výkon vysílače. Díky tomuto sdílení výkonu **má aktuální pozice každého uživatele velký vliv na ostatní uživatele**, dokonce i při malém zatížení. Ve směru uplink má pozice uživatele vliv pouze na jeho samého. Následkem toho se zátěž buňky spolu s dostupnými zdroji pro konkrétního uživatele mění, podle toho jak se uživatelé v rámci buňky pohybují.

Tento algoritmus rozhoduje o přijetí nového spojení (uživatele) do systému podle následující podmínky:

$$P_{AV} + \Delta P_T^* \leq P_T^*, \quad (3.21)$$

$$P_{AV} = \frac{\sum_{j=1}^T P_T(i-j)}{T}. \quad (3.22)$$

P_{AV} je průměrný celkový vysílaný výkon během posledních T rámců, ΔP_T^* je odhad zvýšení vysílacího výkonu způsobeného novým spojením a P_T^* je stanovený mezní vysílací výkon

Nejen průměrný celkový výkon, ale i ostatní dva parametry se mohou měnit v čase podle aktuálních podmínek a zátěže. **Přes svou jednoduchost poskytuje tento algoritmus dobré výsledky** (při vhodném stanovení parametrů).

Ve směru downlink je klíčový parametrem maximální výkon, který může být vyhrazen pro jedno spojení. Smyslem tohoto parametru je zabránit uživatelům využívat příliš velký výkon a omezovat tak ostatní spojení v buňce. Z pohledu řízení přístupu se sleduje, zda ΔP_T^* nepřekračuje maximální povolený výkon pro uživatele.

Dostupnost kódu

Ve směru downlink jsou jednotlivá spojení od daného Node B rozlišeny různými OVFS kódy, které představují limit možných spojení (v závislosti na jejich rozprostíracím faktoru). Při kontrole dostupnosti kódu pro přidělený vyhrazený kanál je třeba brát v úvahu, že část kódového stromu může být vyhrazena pro sdílené kanály nebo jiné účely (handover).

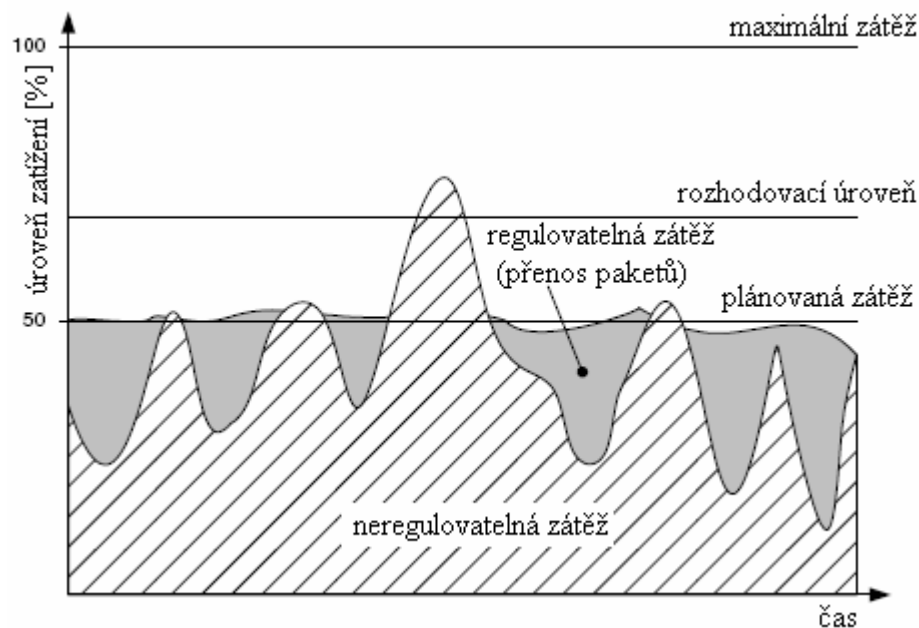
Platí podmínka:

$$\sum_{i=1}^{N_D} \frac{1}{SF_i} \leq K_S - R_C = K_S - \sum_{j=1}^C \frac{1}{SF_j}. \quad (3.23)$$

N_D je počet alokovaných vyhrazených kanálů, každý s rozprostíracím faktorem SF_i , R_C představuje část kódového stromu rezervovanou pro C sdílených kanálů. K_S je celkový počet skramblovacích kódů pro daný Node B (většinou 1) [8].

3.2.3 Plánovač paketů

Plánovač paketů (Packet Scheduler) využívá zdroje, které nejsou aktuálně přiděleny, pro plánování přenosů dat, která nebudou v reálném čase (**NRT data**). NRT data nemají na síť žádné požadavky ohledně zpoždění, potřebují pouze naplánovat s ohledem na prioritu. Pokud budou real-time přenosy potřebovat více zdrojů, upraví se plán NRT dat. To ilustruje Obr. 3-5. Provoz v reálném čase je považován za neregulovatelnou zátěž, protože síť musí garantovat zdroje a nemá tak nad nimi takovou kontrolu. **NRT přenosy** nabízí kompromis - mohou se přizpůsobovat dostupným zdrojům a proto se nazývají **regulovatelná zátěž** [1].



Obr. 3-5: Regulovatelná a neregulovatelná zátěž

3.2.4 Řízení zátěže

Řízení zátěže (Load Control) neustále monitoruje rádiové rozhraní a kontroluje úroveň rušení v buňkách. Spolupracuje s řízením přístupu a paketovým plánovačem, s cílem udržet zátěž pod určitou úrovní. Pokud je úroveň překročena, jsou spuštěny procedury pro snížení zátěže zpět pod onu úroveň. Procedury jsou považovány za nouzové a zahrnují krajní řešení jako pozastavení NRT služeb nebo přerušení real-time služeb.

Existuje **množství postupů pro řízení přístupu a zátěže** pro přijetí nového uživatele do buňky:

- Připojené mobilní stanice zvýší vysílací výkon, což však způsobí zvýšení rušení pro ostatní účastníky. Vyšší vysílací výkon také více zatěžuje baterii mobilní stanice.
- Nový účastník dostane přidělenou nižší přenosovou rychlost dat než požadoval. Účastníci provozující hovorovou službu budou přepojeni na jinou síť (např. GSM) pokud je dostupná.
- Soft handover bude používán pouze pro účastníky využívající vysokou přenosovou rychlost dat. To sníží průměrný vysílací výkon a sníží tak úroveň rušení.
- Účastníci na okraji buňky mohou být přepojeni do sousední buňky.
- Ukončování hovorů (podle určitého schématu).
- Použití regulace výkonu vnější smyčkou pro snížení poměru signálu a šumu ve směru uplink.
- Snížení bitové rychlosti přenášené řeči použitím AMR kodeků.
- Účastníci, kteří používají vyhrazený (dedikovaný) kanál ale plně ho nevyužívají, mohou být přesunuti do sdílených kanálů [1].

3.2.5 Řízení handoveru

RNC má na starosti řízení handoveru (Handover Control). V UMTS existují dvě kategorie handoveru - soft handover a hard handover. Princip soft handoveru je ten, že nové rádiové spojení je navázáno dříve, než je staré spojení zrušeno. To je možné díky tomu, že sousední buňky pracují na stejném kmitočtu. Výsledkem je lepší kvalita spojení. V Tab. 3-2 a Tab. 3-3 je uveden přehled typů handoverů v UTRAN.

Tab. 3-2: Soft handover - typy

Typ handoveru	Popis
Softer handover	Handover mezi buňkami patřícími pod jeden Node B
Intra-RNC soft handover	Handover mezi Node B patřícími pod jeden RNC
Inter-RNC soft handover	Handover mezi Node B patřícími pod různé RNC

Tab. 3-3: Hard handover – typy

Typ handoveru	Popis
Intra-frequency hard handover	Handover mezi Node B pod kontrolou různých RNC, kde není dostupné Iur rozhraní
Inter-frequency hard handover	Handover mezi buňkami nebo Node B pracujícími na různých kmitočtech
Inter-system hard handover	Handover mezi UMTS a sítí s jinou technologií. V současnosti zejména mezi UMTS a GSM
SRNC relocation	Změna SRNC

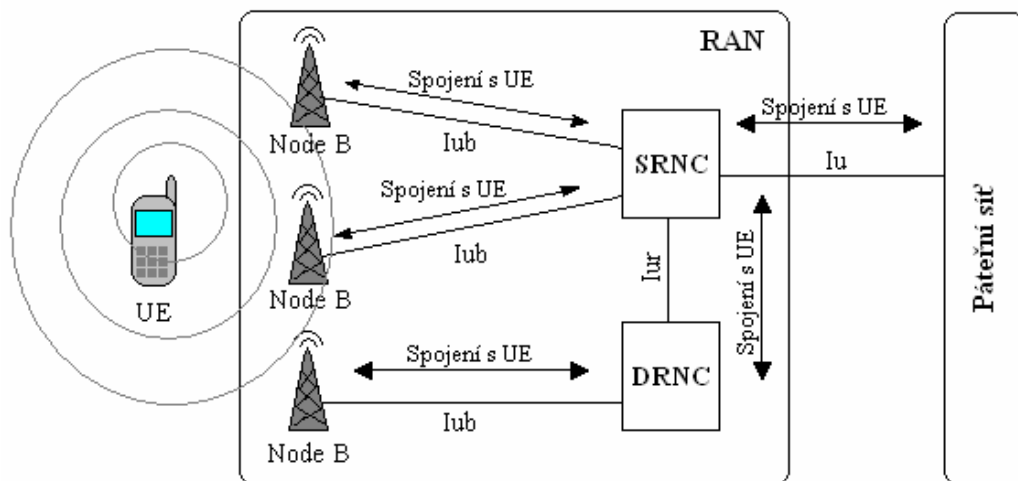
Soft handover

Soft handover je mechanismus, který umožňuje uživatelskému zařízení (UE) komunikovat s více základnovými stanicemi (Node B) najednou. To zvyšuje využití vysílaného signálu, který se z UE šíří všemi směry. Buňky, které uživatelské zařízení detekuje se dělí do **tří kategorií** uvedených v Tab. 3-4. Zjednodušené schéma sítě při handoveru je na Obr. 3-6.

Soft handover využívá makrodiverzitu (vícenásobný příjem). Ve směru uplink přijímá RNC signál UE od několika Node B a může tak v každém okamžiku vybírat ty bloky, které obsahují nejméně chyb. To způsobí zlepšení příjmu, UE může vysílat s menším výkonem, což sníží úroveň rušení v buňce. Ve směru downlink je to obdobné, signály se slučují v UE pomocí RAKE přijímače.

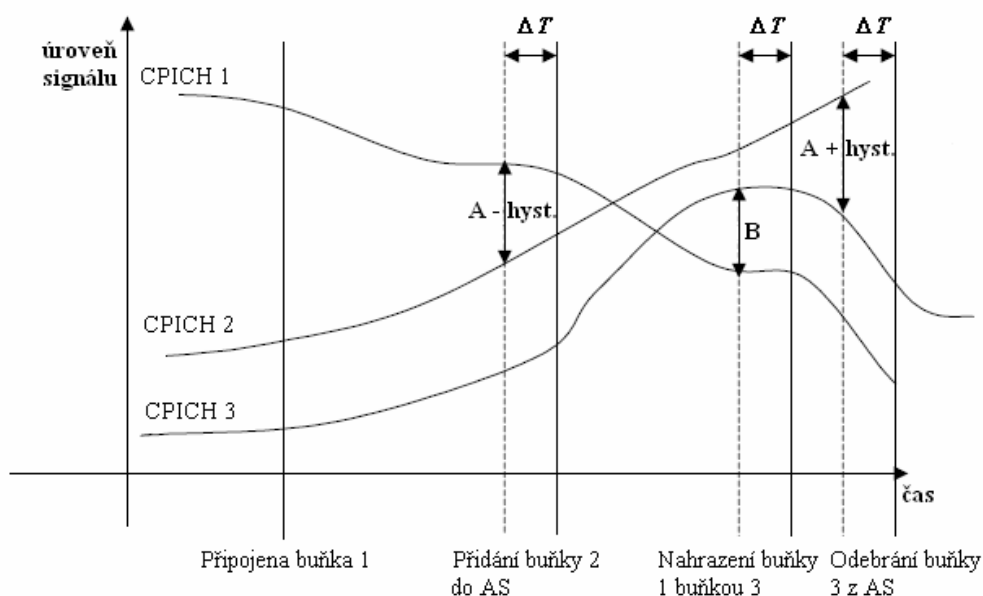
Tab. 3-4: Dělení buněk z pohledu UE

Kategorie buněk	Popis
Aktivní skupina (AS)	Aktuální skupina buněk, ke kterým je UE připojena a komunikuje s nimi
Sledovaná skupina (MS)	Skupina buněk, které UE na příkaz RNC sleduje jako vhodné kandidáty pro handover
Detekovaná skupina	Všechny ostatní buňky, které UE detekuje



Obr. 3-6: Soft handover

Obr. 3-7 ukazuje názorný **graf průběhu soft handoveru**. UE je připojeno k buňce 1 a pohybuje se směrem k buňkám 2 a 3. UE sleduje okolní buňky (MS – sledovaná skupina) a posílá naměřené hodnoty úrovně signálu CPICH (kanál s konstantním výkonem vysílaný Node B) do SRNC. Když SRNC zjistí, že rozdíl úrovní signálů buněk 1 a 2 dosáhl určité hodnoty (A - hystereze), spustí časovač. Pokud tento rozdíl zůstane po dobu časovače ve vymezeném rozsahu, bude buňka 2 přidána do AS - aktivní skupiny (pomocí zprávy "active set update" z RNC do UE). Časovač zabraňuje příliš častým změnám ve skupinách buněk. Maximální velikost AS je v tomto příkladě $AS_{max} = 2$, UE tedy může být připojeno současně k maximálně dvěma Node B. Uživatel se dál vzdaluje od buňky 1 a jakmile úroveň signálu buňky 3 překoná úroveň buňky 1 o stanovenou hodnotu (B), bude buňka 1 nahrazena (po uplynutí časovače) buňkou 3. V aktivní skupině AS jsou nyní buňky 2 a 3. Poté se však uživatel začne od buňky 3 vzdalovat a jakmile rozdíl úrovní buněk v AS překročí danou hodnotu ($A + hystereze$), bude spuštěn časovač a po jeho vypršení bude buňka 3 odpojena.



Obr. 3-7: Příklad průběhu soft handoveru; $AS_{max} = 2$

ΔT ... časovač

A... maximální možný rozdíl dvou signálů při makrodiverzitě

B... minimální rozdíl úrovní signálů pro nahrazení nejhorší buňky v AS nejlepší buňkou z MS

Použití soft handoveru je výhodné, pokud jsou k dispozici dva nebo více signálů s podobným výkonem (typicky s vzájemným rozdílem menším než 3 dB – hodnota A). V praxi se většinou využívá připojení UE k maximálně **2-3 buňkám** najednou. To lze určit nastavením maximální velikosti aktivní sady AS uživatelského zařízení UE. Současné připojení UE k více buňkám samozřejmě snižuje kapacitu systému, a proto může být použití soft handoveru v oblastech s vyšší zátěží omezeno [1].

3.2.6 Řízení výkonu

Hlavní cíle řízení výkonu jsou:

- poskytnout každému UE dostatečnou kvalitu služeb bez ohledu na podmínky spojení a vzdálenost od Node B,
- kompenzovat vlivy přenosového kanálu jako rychlý únik nebo útlum,
- optimalizovat spotřebu energie UE (z důvodu výdrže baterie).

Řízení výkonu (Power Control) ve WCDMA je důležité pro správnou funkci systému, zejména proto, že všichni účastníci používají stejnou frekvenci. Pokud zařízení vysílá s příliš velkým výkonem, nebo je blízko k Node B, může "překrýt" vysílání ostatních zařízení, a naopak při malém vysílacím výkonu nebo velké vzdálenosti se jeho vysílání k Node B nedostane. Toto se nazývá **near-far problem**. Proto je třeba přizpůsobovat vysílací výkon minimální hodnotě dané požadavky na E_b/N_0 u přijímače každého uživatele.

UPLINK

Předpokládejme dva uživatele v systému, se stejnou přenosovou rychlostí dat R_b , v různé vzdálenosti od základnové stanice a s hodnotami útlumu signálu $L_1 > L_2$. Oba uživatelé mají stejné požadavky na $(E_b/N_0)_{\min}$.

E_b/N_0 na výstupu přijímačů obou uživatelů pak lze spočítat jako funkci jejich vysílacích výkonů $P_{T,1}$ a $P_{T,2}$:

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_1 = \frac{W}{R_b} \left(\frac{S}{I}\right)_1 = \frac{W}{R_b} \frac{\frac{P_{T,1}}{L_1}}{P_N + \frac{P_{T,2}}{L_2}}, \quad (3.24)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_2 = \frac{W}{R_b} \left(\frac{S}{I}\right)_2 = \frac{W}{R_b} \frac{\frac{P_{T,2}}{L_2}}{P_N + \frac{P_{T,1}}{L_1}}. \quad (3.25)$$

Pokud oba uživatelé vysílají se stejným výkonem ($P_{T,1} = P_{T,2} = P_T$), potom uživatel 2, který je blíž k základnové stanici, bude generovat nadměrné rušení pro uživatele 1. Uživatel 2 tak bude mít lepší podmínky pro komunikaci oproti uživateli 1.

Vzniká tak výše zmíněný „near-far problem“ (uživatelé blíže k základnové stanici degradují příjem vzdálenějších uživatelů).

Proto je třeba **optimalizovat vysílací výkon**, aby vzájemné rušení mezi uživateli bylo co nejmenší, čehož je dosaženo nastavením vysílacího výkonu právě tak, aby odpovídal minimálním hodnotám $(E_b/N_0)_{\min}$ na výstupu obou přijímačů. Po zavedení této podmínky, $(E_b/N_0) = (E_b/N_0)_{\min}$, lze optimální vysílací výkon vypočítat následovně:

$$P_{T,1} = \frac{L_1 P_N}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min} R_b} - 1} = \frac{L_1 P_N}{\frac{1}{\left(\frac{S}{I}\right)_{\min}} - 1}, \quad (3.26)$$

$$P_{T,2} = \frac{L_2 P_N}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min} R_b} - 1} = \frac{L_2 P_N}{\frac{1}{\left(\frac{S}{I}\right)_{\min}} - 1}, \quad (3.27)$$

kde $(S/I)_{\min}$ je poměr signálu k šumu a interferencím požadovaný na vstupu přijímače pro dosažení $(E_b/N_0)_{\min}$. Vypočtený výkon se liší jen podle útlumu signálu (vzdálenosti) uživatelů, **výkon přijímaný** u základnové stanice bude tedy **v obou případech stejný**:

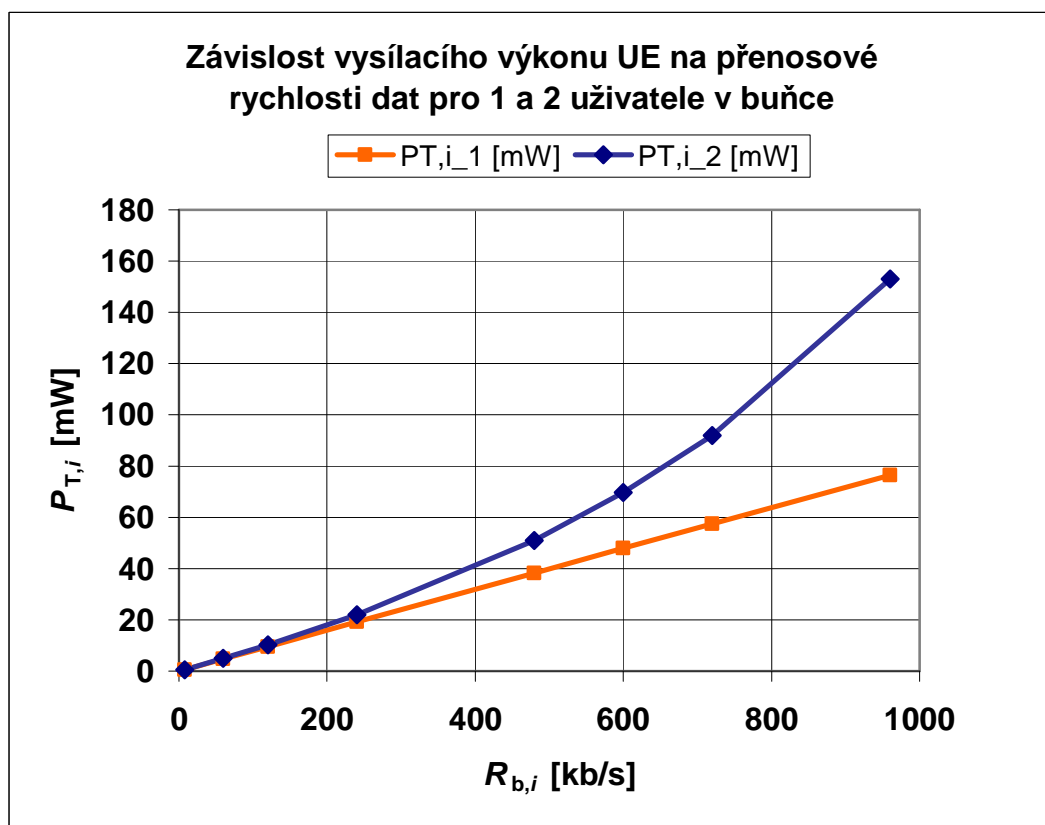
$$P_1 = \frac{P_{T1}}{L_1} = P_2 = \frac{P_{T2}}{L_2} = \frac{P_N}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min} R_b} - 1}. \quad (3.28)$$

Pro výpočet vysílacího výkonu uživatele v situaci s libovolným počtem uživatelů s různými přenosovými rychlostmi dat slouží vzorec (3.5), pro přehlednost je uveden znovu:

$$P_{T,i} = \frac{L_{p,i} P_N}{\left[\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i}} + 1 \right] \left[1 - \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i}} + 1} \right]}. \quad (3.29)$$

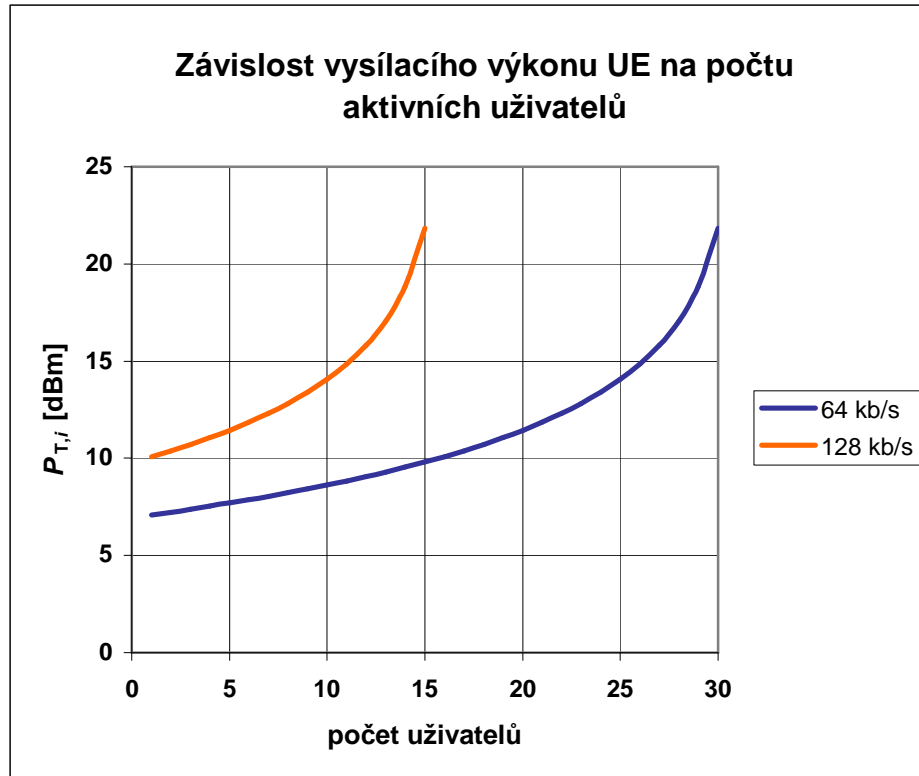
Pokud budeme uvažovat **jediného uživatele** v buňce, který se navíc nepohybuje, dá se vzorec (3.29) zjednodušit, jak ukazuje vzorec (3.30). **Vysílací výkon pak bude přímo úměrný přenosové rychlosti dat**, jak ukazuje oranžová závislost v grafu na Obr. 3-8. Při zdvojnásobení přenosové rychlosti se zdvojnásobí i potřebný vysílací výkon. V případě, že **uživatelé budou v buňce dva** a oba budou shodně zvyšovat datovou rychlost, se bude jejich vysílací výkon měnit podle modré závislosti. Výkon v grafu je vypočten pro hodnoty $(E_b/N_0)_i = 3 \text{ dB} \approx 2$, $L_{p,i} = 130 \text{ dB} \approx 1.10^{13}$, $P_N = -108 \text{ dBm} \approx 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ mW}$.

$$P_{T,i} = \frac{L_{p,i} P_N}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i}} = \frac{L_{p,i} P_N \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i R_{b,i}}{W}. \quad (3.30)$$



Obr. 3-8: Příklad závislosti vysílacího výkonu uživatele na jeho datové rychlosti

Obr. 3-9 pak ukazuje **závislost vysílacího výkonu uživatele na celkovém počtu aktivních uživatelů** v buňce, za předpokladu, že všichni vysílají stejnou (konstantní) datovou rychlostí. Hodnoty ostatních parametrů jsou stejné jako u předchozího grafu.



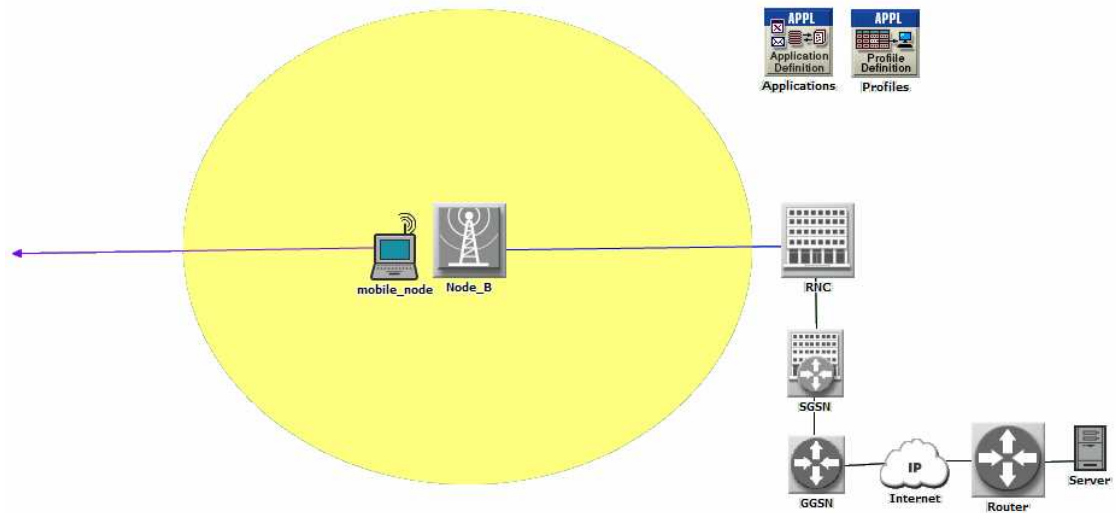
Obr. 3-9: Příklad závislosti vysílacího výkonu uživatele na počtu současně vysílajících uživatelů

S rostoucím počtem uživatelů v buňce stoupá úroveň rušení a uživatelé tak musí zvyšovat vysílací výkon, aby byli schopni dosáhnout požadované hodnoty E_b/N_0 u Node B.

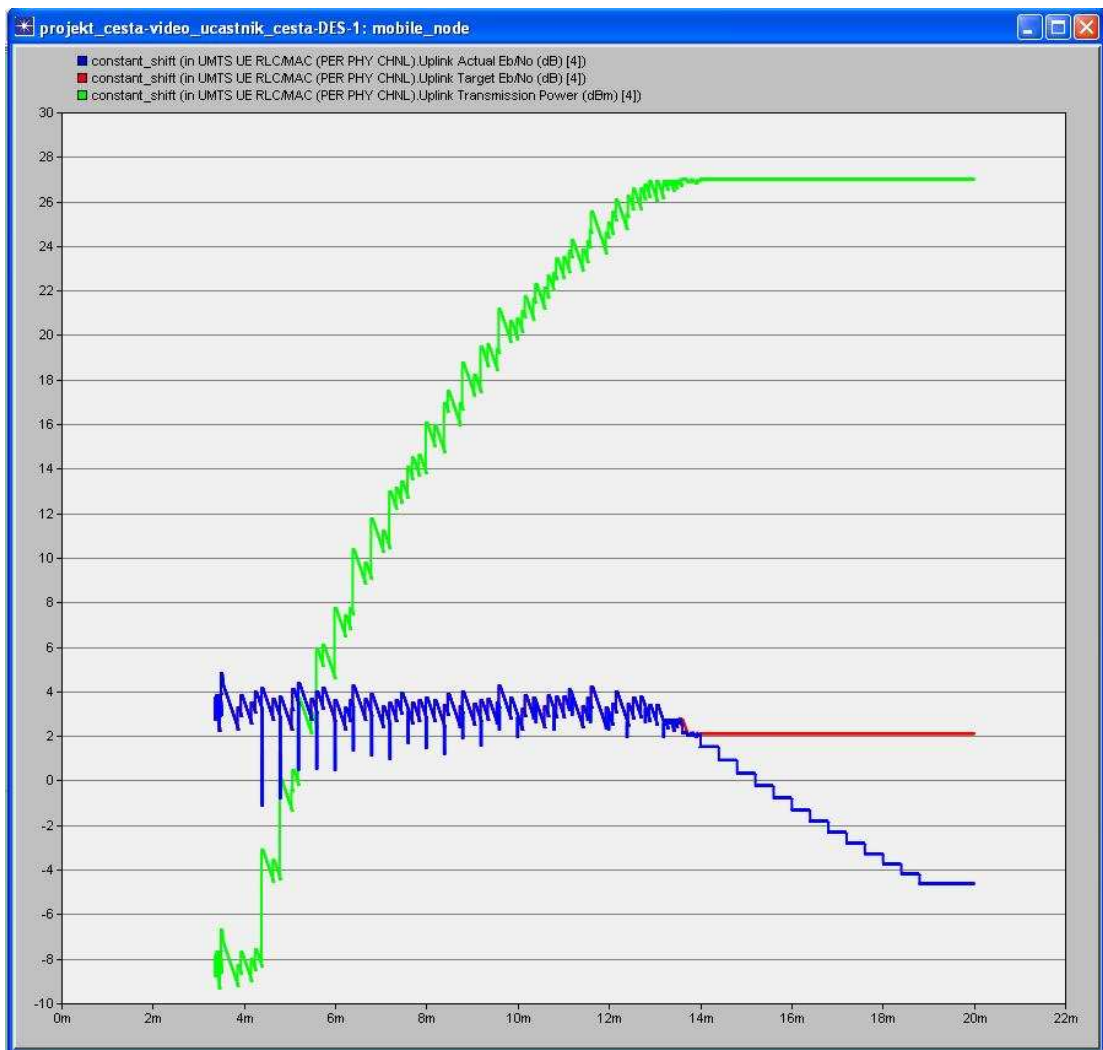
Příklad s využitím simulačního software

V OPNET Modeleru jsem vytvořil model sítě s jednou buňkou a jedním uživatelem, který se vzdaluje od Node B rychlostí 10 km/h. Uživatel využívá službu videokonference s konstantní přenosovou rychlostí 173 kb/s, $P_N = -108$ dBm. Model přenosového útlumu signálu odpovídá městskému prostředí. Schéma simulované situace je na Obr. 3-10.

Průběh simulace, konkrétně závislost vysílacího výkonu uživatele a cílové/aktuální hodnoty E_b/N_0 , ukazuje graf na Obr. 3-11. V čase $t = 4$ minuty se uživatel začíná pohybovat od Node B směrem k okraji buňky a na konci simulace, v čase $t = 20$ minut, bude ve vzdálenosti cca 2,5 km od místa startu. S rostoucí vzdáleností uživatel zvyšuje vysílací výkon (zelený průběh) tak, aby udržel aktuální hodnotu E_b/N_0 (modrý průběh) na cílové (požadované) hodnotě $(E_b/N_0)_{\min}$ (červený průběh). V čase $t = 14$ minut (vzdálenost cca 1,7 km) však dosáhne svého maximálního vysílacího výkonu 27 dBm a s dalším vzdalováním už jeho hodnota E_b/N_0 klesá pod úroveň požadované hodnoty – uživatel již nemůže využívat danou službu.



Obr. 3-10: Schéma simulované sítě



Obr. 3-11: Simulace závislosti vysílacího výkonu UE (zelená charakteristika) na vzdálenosti od Node B

DOWNLINK

Ve směru downlink se používají ortogonální kódy, je tedy třeba počítat s faktorem ρ . Pro stejný případ dvou uživatelů jako ve směru uplink dostaneme obdobné rovnice pro E_b/N_0 :

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_1 = \frac{W}{R_{b,1}} \frac{\frac{P_{T,1}}{L_1}}{P_N + \rho \frac{P_{T,2}}{L_1}}, \quad (3.31)$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_2 = \frac{W}{R_{b,2}} \frac{\frac{P_{T,2}}{L_2}}{P_N + \rho \frac{P_{T,1}}{L_2}}. \quad (3.32)$$

Důležitý rozdíl oproti směru uplink je, že rušení od ostatních uživatelů je ovlivněno stejným přenosovým útlumem jako užitečný signál, protože všechny vysílače jsou umístěny na základnové stanici a signály (užitečný i rušivé) tak urazí k danému uživateli stejnou radiovou vzdálenost. **Neexistuje tedy tedy „near-far problem“.**

Avšak ve směru downlink uživatelé sdílí výkon dostupný na základnové stanici, což výrazně omezuje kapacitu buňky. Řízení výkonu ve směru downlink tedy slouží právě k udržování spotřeby výkonu na minimální úrovni dostatečné pro uspokojení požadavků uživatelů.

Optimální výkon lze pak určit pomocí následujících vztahů:

$$P_{T,1} = \frac{\frac{R_{b,1} P_N}{W} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,1} \left(L_1 + \rho L_2 \frac{R_{b,2}}{W} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,2} \right)}{1 - \rho^2 \frac{R_{b,1} R_{b,2}}{W^2} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,1} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,2}}, \quad (3.33)$$

$$P_{T,2} = \frac{\frac{R_{b,2} P_N}{W} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,2} \left(L_2 + \rho L_1 \frac{R_{b,1}}{W} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,1} \right)}{1 - \rho^2 \frac{R_{b,1} R_{b,2}}{W^2} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,1} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min,2}}. \quad (3.34)$$

Výkony potřebné pro jednotlivé uživatele závisí přímo úměrně na jejich požadované bitové rychlosti [8].

ŘÍZENÍ VÝKONU – METODY

Podmínky v mobilních sítích jsou velmi dynamické, proto v praxi nemůže být řízení výkonu založeno na numerickém řešení rovnic, jako to bylo v předchozím teoretickém příkladu. Je potřeba dynamický mechanismus založený na měření.

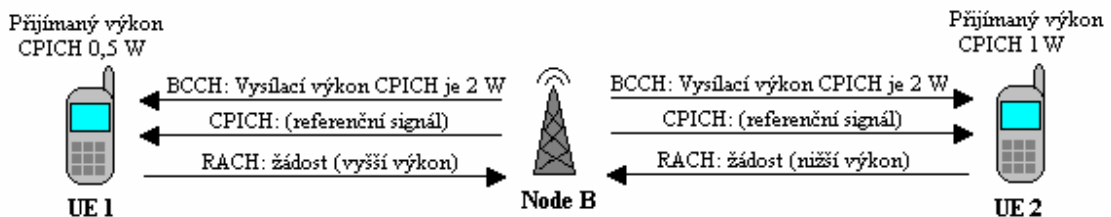
V ideálním případě by šlo o měření útlumu signálu a E_b/N_0 , což je však v praxi složité. **Běžné metody řízení výkonu jsou proto založeny na měření odstupu signálu od šumu S/I na vstupu přijímače.** Řídicí algoritmus se potom snaží dosáhnout určité minimální hodnoty $(S/I)_{\min}$, jak uvádí vzorec (3.35):

$$\left(\frac{S}{I}\right)_{\min} = \frac{R_b}{W} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{\min} . \quad (3.35)$$

V systému WCDMA se používají **dva typy řízení výkonu** - otevřená smyčka a uzavřená (vnitřní a vnější) smyčka.

Otevřená smyčka

Používá se když stanice (UE) poprvé vstoupí do buňky. Stanice sleduje CPICH a získá výsledky měření výkonové úrovně tohoto kanálu, které bude potřebovat pro nastavení vlastního vysílacího výkonu. Stanice však neví, s jakým výkonem Node B na kanále CPICH vysílá. To se dozví z všesměrového vysílání Node B (kanál BCCH). Nyní již, podle rozdílu vysílané a přijímané úrovně CPICH, může UE určit svou vzdálenost od Node B a nastavit vysílací výkon. Tento proces je znázorněn na Obr. 3-12.



Obr. 3-12: Příklad komunikace při řízení výkonu otevřenou smyčkou

Stanovení vysílacího výkonu mobilní stanice:

$$P_T = L_p \cdot I_m \left(\frac{S}{I}\right)_{\min} = \frac{P_{T,\text{pilot}}}{P_{0,\text{pilot}}} \cdot I_m \left(\frac{S}{I}\right)_{\min} , \quad (3.36)$$

kde P_T je vysílací výkon UE, L_p je změřený útlum signálu, I_m je změřený šum a rušení, $P_{T,\text{pilot}}$ je vysílaný výkon pilotního signálu, $P_{R,\text{pilot}}$ je přijímaný výkon pilotního signálu a $(S/I)_{\min}$ je minimální stanovený odstup signálu od šumu a rušení.

Uzavřená smyčka - vnitřní

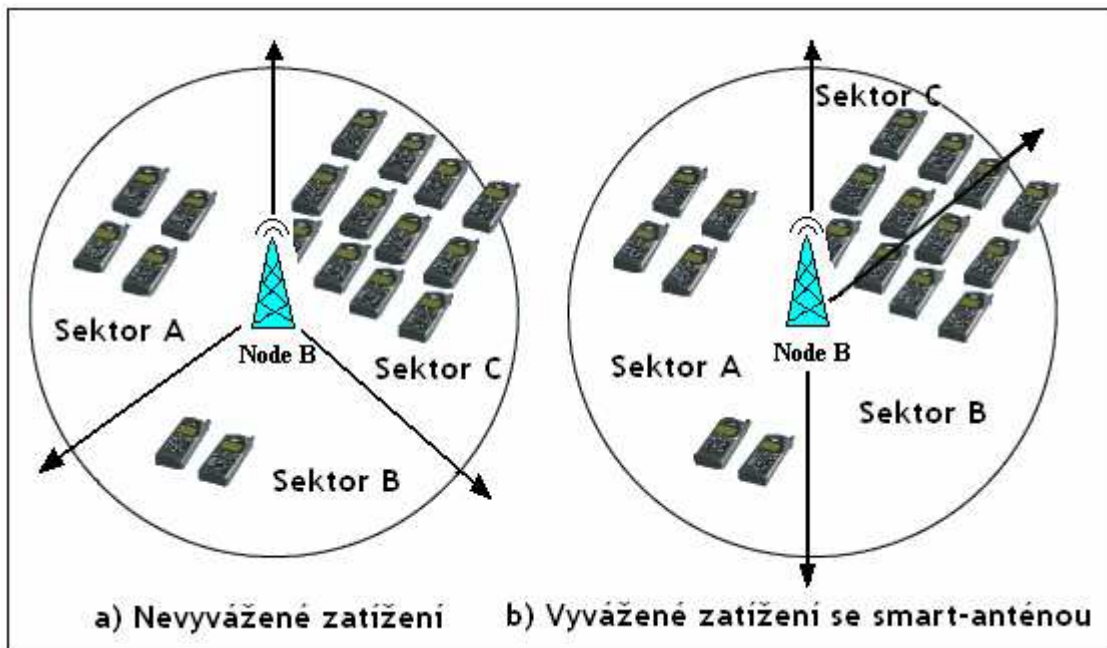
Tento typ řízení výkonu je potřeba, protože systém otevřené smyčky neposkytuje dostatečně přesné údaje pro řešení problémů jako je rychlý únik. Pro řízení výkonu ve směru uplink vykonává Node B pravidelné měření S/I přijatých signálů od všech účastníků a podle naměřených hodnot rozhoduje o snížení/zvýšení vysílacího výkonu mobilních stanic. Informace pro řízení výkonu jsou vysílány v každém slotu, tj. 1500x za sekundu, což umožňuje řešit i problémy jako rychlý únik. Stejný způsob řízení se používá ve směru downlink.

Uzavřená smyčka - vnější

Jak je popsáno výše, vnitřní smyčka měří S/I přijímaných signálů a porovnává je s nastavenou optimální hodnotou. Tato optimální hodnota je stanovena a regulována vnější smyčkou v RNC. Hodnota bývá odvozena z požadované hodnoty bitové chybovosti (BER) pro danou službu. Počítá se s určitým procentem chyb v datech přijatých od mobilní stanice. Pokud v přijatých datech nejsou žádné chyby, předpokládá se, že stanice vysílá zbytečně velkým výkonem. Při implementaci této metody se využívá kontrolní součet a měření BER. Stanovená hodnota S/I není pevná - může se měnit a umožnit tak efektivní využívání buňky [1].

3.2.7 Rozdělování přenosové zátěže

Základní problém přenosové zátěže je ten, že zátěž je rozložena nerovnoměrně mezi různé geografické oblasti sítě. I uvnitř buněk může být zatížení nerovnoměrně mezi jednotlivými sektory. Taková nerovnováha má za následek nadbytek síťové kapacity v méně využívaných sektorech a zároveň přetížení nejvíce využívaných sektorů. Vyrovnávání zátěže mezi sektory buňky snižuje přetížení a vytvoří potřebný prostor pro požadovanou zátěž a zvýší tak účinnost využívání spektra a infrastruktury celé sítě. Jedním ze způsobů vyrovnávání zátěže je úprava orientace antén a jejich vyzařování v každém sektoru. To je možné pomocí tzv. chytrých antén s nastavitelným vyzařováním. Názorný příklad použití ukazuje Obr. 3-13.



Obr. 3-13: Rozdělování zátěže v buňce pomocí chytrých antén

3.2.8 Omezování rušení

Jedním z velkých problémů je rušení nosné (pilot pollution), které se často vyskytuje v místech se signálem silnějším než obvykle. U CDMA systémů může mobilní stanice přijímat signál z několika Node B najednou, pokud se v daném místě pokrytí jejich signálem překrývá. Avšak není dobré, když určitá oblast obsahuje pilotní signály z velkého množství Node B, protože to způsobuje vznik rušení a přetížení RAKE přijímače mobilní stanice. Řešením je snížit velikost pokrytí některé buňky (nebo více buněk), například zmenšením výšky umístění příslušných antén, upravením jejich sklonu nebo snížením vysílacího výkonu [3].

3.2.9 Prostředky pro zjišťování stavu sítě

Pro hodnocení problémů v síti existují zvláštní ukazatele, založené na výsledcích měření. Nazývají se **KPI** (Key Performance Indicators). Většinou určují poměr určitých hodnot, vypovídajících o stavu a chování sítě, potřebných při optimalizaci. Srovnáváním hodnot KPI lze například zjistit, jak se projeví změny provedené za účelem zlepšení kvality sítě a služeb a zda byly prospěšné.

Jednoduchým příkladem vstupních dat pro výpočet KPI jsou události čítačů protokolových zpráv, které indikují úspěšné či neúspěšné procedury. KPI pak bude představovat vyjádření úspěšnosti či neúspěšnosti procedury v procentech.

Příklad:

Čítač 1 = Suma všech GPRS Attach žádostí zachycených za daný časový úsek

Čítač 2 = Suma všech GPRS Attach zamítnutí zachycených za daný časový úsek

KPI: Poměr neúspěšných procedur GPRS Attach = $(\text{Čítač 2} / \text{Čítač 1}) \times 100$ [%].

Poslední dobou se termín KPI často používá nad rámec svého původního významu, bývá používán pro široké spektrum výsledků měření získaných například z protokolů událostí, či přímo odvozených z analýzy dat [8].

ZÁVĚR

Architektura systému UMTS je obdobná jako architektura systému GSM. Největší rozdíl je v typu rádiové přístupové sítě – ta využívá standardu WCDMA, jehož hlavní vlastností je, že uživatelé komunikují na stejném kmitočtu a odlišení jsou speciálním kódem. Pro oddělení směru přenosu se v současnosti využívá zejména frekvenční duplex FDD (párové spektrum).

Obdobně jako u jiných systémů i zde existuje protokolová architektura systému, rozdělená do několika vrstev, zajišťujících funkci systému na několika úrovních pomocí definovaných protokolů. Pro přenos informací mezi vrstvami slouží fyzické, transportní a logické kanály, podle toho na jaké úrovni pracují. Konkrétních kanálů je mnoho typů, každý má svou specifickou funkci a vlastnosti a je třeba definovat jejich mapování, tj. stanovení, které kanály jedné vrstvy budou přebírat informace od jednotlivých kanálů jiné vrstvy. Toto mapování lze přizpůsobit podle potřeb uživatelů a jejich služeb, podle aktuálního zatížení sítě a liší se i podle směru přenosu. Například transportní kanál DCH má relativně dlouhou inicializaci, ale dokáže zaručit nízké zpoždění, je tedy vhodný pro real-time služby. Naproti tomu kanály RACH/CPCH (uplink) a FACH (downlink) nevyžadují žádnou inicializaci, ale jsou sdílené, hodí se tedy pro přenos nesouvislých toků dat s nižšími nároky na zpoždění. Mapování kanálů je dynamické, lze jej tedy měnit za provozu systému. Například pokud se do systému připojí uživatel s vysokými nároky na datovou rychlost, ale žádný odpovídající kanál není volný, lze jiného uživatele s nižšími nároky přesunout z vyhrazeného kanálu do sdíleného a uvolněný vyhrazený kanál přidělit novému uživateli. Volba kanálů a jejich mapování umožňuje efektivně a ekonomicky využívat kapacitu sítě a přizpůsobovat síť aktuálním potřebám operátora a uživatelů.

Optimalizace přístupové sítě se snaží o dosažení maximální výkonnosti sítě, zjišťuje aktuální stav sítě a přizpůsobuje ho stanoveným QoS požadavkům. Optimalizační struktura se dělí na okruhy pracující v reálném čase (rychlé a pomalé), které zajišťují řízení rádiových zdrojů a okruhy nepracující v reálném čase (NRT), které sbírají změřená data ze síťových prvků a upravují podle nich konfigurační parametry real-time okruhů. NRT okruhy zajišťují například rovnoměrné rozdělování zátěže mezi buňky nebo sektory buněk nebo kontrolu využívání soft-handoveru.

U WCDMA systému není pevně definován maximální počet uživatelů – ten je pouze omezen úrovní rušení, kdy každý další uživatel zvýší celkovou hladinu rušení v buňce, a to tím více, čím vyšší datovou přenosovou rychlost využívá. Proto jsou pro funkci systému důležité algoritmy řízení využívání rádiových zdrojů. Ty zajišťují rovnoměrné rozdělování přenosových prostředků a jejich efektivní využívání, řeší problémy vznikající pohybem uživatelů a snaží se minimalizovat úroveň rušení. Zejména pro algoritmy řízení přístupu a řízení výkonu je důležitý parametr zátěž buňky, související s úrovní rušení v buňce. Zátěž buňky závisí na počtu uživatelů v buňce a jejich požadavcích na datovou rychlost a odstup signálu od šumu u přijímače, proto lze pomocí toho to parametru určovat kapacitu buňky. Pro výpočet zátěže se využívají různé metody, většinou se dají rozdělit na statistické a metody založené na měření. Obě metody dosahují při správném nastavení relativně přesných výsledků, volba tak spíše závisí na konkrétní implementaci – zda jsou k dispozici výsledky měření z rádiového rozhraní či zda máme aktuální a přesné potřebné údaje pro statistické metody.

Optimalizace přístupových sítí UMTS je rozsáhlý a komplikovaný proces, je však nepostradatelná pro správné a efektivní fungování sítě a zejména s rozšiřováním sítí třetí generace a prudkým nárůstem počtu uživatelů nabývá na důležitosti.

SEZNAM LITERATURY

- [1] BANNISTER, J., MATHER, P., COOPE, S. *Convergence Technologies for 3G Networks : IP, UMTS EGPRS and ATM*. Chichester (England): Willey, c2004. 650 s. ISBN 0-470-86091-X.
- [2] BEŠŤÁK, R. *UMTS* [online]. 1999 [cit. 2008-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.comtel.cz/files/download.php?id=2748>>
- [3] DINAN, E., KUROCHKIN, A., KETTANI, S. UMTS Radio Interface System Planning and Optimization. *Bechtel Telecommunications Technical Journal* [online]. 2002, no. 1 [cit. 2008-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.bechtel.com/assets/files/PDF/BIP/25661.pdf>>.
- [4] HANUS, S., FENCL, J., ŠTENČEL, V. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*. Skripta VUT, Brno, 2005.
- [5] ITU-T Recommendation Q.1741.2: *IMT-2000 references to release 4 of GSM evolved UMTS core network with UTRAN access network*. ITU-T, 12/2002.
- [6] LAIHO, J., NOVOSAD, T., WACKER, A. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. 2nd edition. Chichester (England) : Willey, c2006. 629 s. ISBN 13 978-0-470-01575-9.
- [7] MÍKOVEC, P. *Přenos dat - UMTS* [online]. 2003 [cit. 2008-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.kiv.zcu.cz/~simekm/vyuka/pd/zapocty-2003/umts/index.html>>.
- [8] PERÉZ-ROMERO, J., et al. *Radio Resource Management Strategies In UMTS*. Chichester (England): Willey, c2005. 345 s. ISBN 0-470-02277-9.

PŘÍLOHY

- I. Laboratorní úloha – Kapacita buňky
- II. Blokové schéma sítě UMTS

I LABORATORNÍ ÚLOHA – KAPACITA BUŇKY

Cíl

Cílem úlohy je seznámení s metodami určování zátěže buňky v UMTS, výpočty konkrétních hodnot a srovnání použitých metod s využitím prostředí OPNET Modeler.

Požadavky na pracoviště

HW požadavky na PC: RAM minimálně 256 MB, 2 GB volného místa na disku.
SW požadavky: OPNET modeler a Microsoft Visual C/C++ 6.X nebo Visual Studio NET.

Zadání

- 1) Určení aktuální zátěže buňky ve směru uplink
 - a) Vypočtete zátěž buňky pro jednoho, dva a čtyři uživatele (s danými parametry) metodou založenou na měření, potřebné hodnoty získáte simulací připravené sítě v OPNET Modeleru.
 - b) Vypočtete zátěž buňky pro stejné situace jako v předchozím bodě statistickou metodou. Porovnejte a zhodnoťte výsledky obou metod. Určete maximální počet uživatelů při $\eta_{\max} = 0,75$.

- 2) Ověření zátěže buňky simulací v OPNET Modeleru
 - a) Zjistěte maximální počet uživatelů s danými parametry v připravené síti při $\eta_{\max} = 0,75$ (přednastaveno) a porovnejte s výsledkem z bodu 1) b).
 - b) U jednoho účastníka zvyšte přenosovou rychlost dat a zjistěte, jak se projeví na kapacitě buňky.

I.I Teoretický úvod

RÁDIOVÉ ROZHRANÍ UMTS

Základní přístupovou metodou v UTRAN je širokopásmový kódový multiplex s přímým rozprostřením DS-WCDMA. Pracuje se základní čipovou rychlostí 3,84 Mchip/s a šířkou kmitočtového pásma 5 MHz. Systém využívá kombinovaný přístup FDMA/CDMA. Kmitočtové pásmo přidělené systému je rozděleno na jednotlivé rádiové kanály (FDMA), které lze použít například pro odlišení operátorů nebo vytvoření hierarchické struktury buněk. V každém rádiovém kanálu jsou pak jednotlivé uživatelské kanály rozlišeny jedinečnou kódovou sekvencí (rozprostíracím kódem), kterou se kóduje přenášená informace (CDMA). Uživatelé systému tedy mohou používat stejný nosný kmitočet a komunikovat ve stejném čase, přičemž pro vzájemné rozlišení používá každý svou vlastní kódovou sekvenci.

Rozprostírací proces

Rozprostírací proces je aplikován na všechny bity přenášené fyzickým kanálem za účelem rozprostřít šířku pásma přenášeného signálu. V UTRAN FDD je rozprostírání rozděleno na dvě části - kódování kanálů (channelisation) a skramblování (scrambling), používají se tedy dva typy kódových sekvencí.

Bity vstupního datového signálu na fyzickém kanále jsou nejprve násobeny rozprostíracím kódem (channelisation code) C_{ch} . Poměr čipové rychlosti rozprostíracího kódu a bitové rychlosti datového signálu je roven rozprostíracímu faktoru SF . Výstupní rozprostřený signál má stejnou čipovou rychlost jako rozprostírací kód (3,84 Mchip/s). SF se může měnit v rozsahu od 4 do 512 a přímo tak tedy ovlivňuje uživatelskou přenosovou rychlost dat - čím nižší rozprostírací faktor, tím vyšší uživatelské přenosové rychlosti je dosaženo, ale tím méně účastníků může sdílet rádiový kanál a naopak.

Rozprostírací faktor SF je klíčový parametr CDMA systémů, protože souvisí s užitečnou šířkou pásma W a přenosovou rychlostí. Změnou SF můžeme měnit přenosovou rychlost při zachování šířky pásma. Vztahy mezi těmito veličinami uvádí rovnice (4.1):

$$SF = \frac{W}{R_s} = \frac{W}{R_b} r, \quad (4.1)$$

kde R_s je kódová přenosová rychlost, r je kódovací poměr (1/2, 3/4, 7/8...) a R_b je informační přenosová rychlost.

Po procesu kódování kanálů je získaná sekvence násobena skramblovacím kódem C_{scr} . Tato procedura nemá vliv na šířku pásma signálu, čipové rychlosti skramblovacího kódu a sekvence bitů po kanálovém kódování jsou stejné. Nakonec je získaná čipová posloupnost modulována a přenesena k anténě na odpovídajícím nosném kmitočtu f_0 [1], [2].

PROBLEMATIKA KAPACITY V UMTS

V UMTS systému sdílí uživatelé stejnou šířku pásma ve stejný čas, oddělení jsou kódem. Jak narůstá počet aktivních uživatelů v buňce, zvyšuje se i úroveň rušení pro všechny uživatele v buňce a také pro uživatele sousedních buněk, protože tito také sdílejí stejnou frekvenci. Uživatel využívající vyšší přenosové rychlosti dat musí vysílat s vyšším výkonem a způsobuje tak větší úroveň širokopásmového rušení než uživatel s nižší datovou rychlostí.

Úroveň rušení tedy závisí zejména na počtu uživatelů a jejich datové rychlosti, což se dá vyjádřit jako zátěž buňky. Pomocí tohoto parametru pak lze vyjadřovat maximální kapacitu buňky a přírůstek zátěže způsobený jednotlivými uživateli.

Uplink

Z pohledu implementace může být řízení přístupu rozděleno na metody založené na statistickém modelování a na metody založené na měření, podle toho, zda využívají odhady zátěže ve směru uplink založené na počtu přijatých uživatelů nebo přímé měření zátěže.

- **Určování zátěže založené na měření**

Přesná charakteristika rádiového rozhraní ve směru uplink může být získána měřením zátěže buňky ve směru uplink η_{UL} . Tu lze určit z celkového výkonu měřeného na daném Node B, P_{TOT} , a výkonu šumu P_N :

$$\eta_{UL} = 1 - \frac{P_N}{P_R + \chi + P_N} = 1 - \frac{P_N}{P_{TOT}}, \quad (4.2)$$

P_R je celkový výkon (z vlastní buňky) přijatý u Node B, χ je mezibuňkové rušení (rušení od okolních buněk). Potom, za předpokladu že je v buňce N přijatých uživatelů, bude žádost o přijetí uživatele ($N+1$) přijata pokud platí podmínka:

$$\eta_{UL} + \Delta\eta \leq \eta_{max}. \quad (4.3)$$

η_{max} je maximální povolená úroveň zátěže, $\Delta\eta$ je změna zátěže buňky způsobená uživatelem $N+1$.

$\Delta\eta$ může být stanovena pomocí přenosové rychlosti dat uživatele $R_{b,N+1}$, cílové hodnoty E_b/N_0 uživatele $N+1$ (vyjadřuje požadavky uživatele na kvalitu služeb) a faktoru aktivity uživatele α_{N+1} (0,67 pro řeč a 1 pro data), viz vztah (4.4), zátěž způsobená uživatelem:

$$\Delta\eta = \frac{1 + f}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{N+1} \alpha_{N+1} R_{b,N+1}} + 1}, \quad (4.4)$$

f je poměr mezibuňkového rušení a vlastního rušení v buňce.

- **Určování zátěže na základě statistických údajů**

Namísto měření zátěže buňky je možné velikost zátěže odhadnout podle počtu přijatých uživatelů každé třídy služeb. Toho lze dosáhnout díky vztahu mezi zátěží buňky a počtem momentálních spojení v buňce - při počtu uživatelů N pak podmínka pro přijetí vypadá následovně:

$$\eta_{UL}^S + \Delta\eta^S \leq \eta_{max} . \quad (4.5)$$

Odhad zátěže:

$$\eta_{UL}^S = (1 + f) \sum_{i=1}^N \frac{1}{\frac{W}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i \alpha_i R_{b,i}} + 1} . \quad (4.6)$$

Zvýšení rušení způsobené uživatelem $N+1$, $\Delta\eta^S$, se určí stejně jako u metody na základě měření, vztah (4.4).

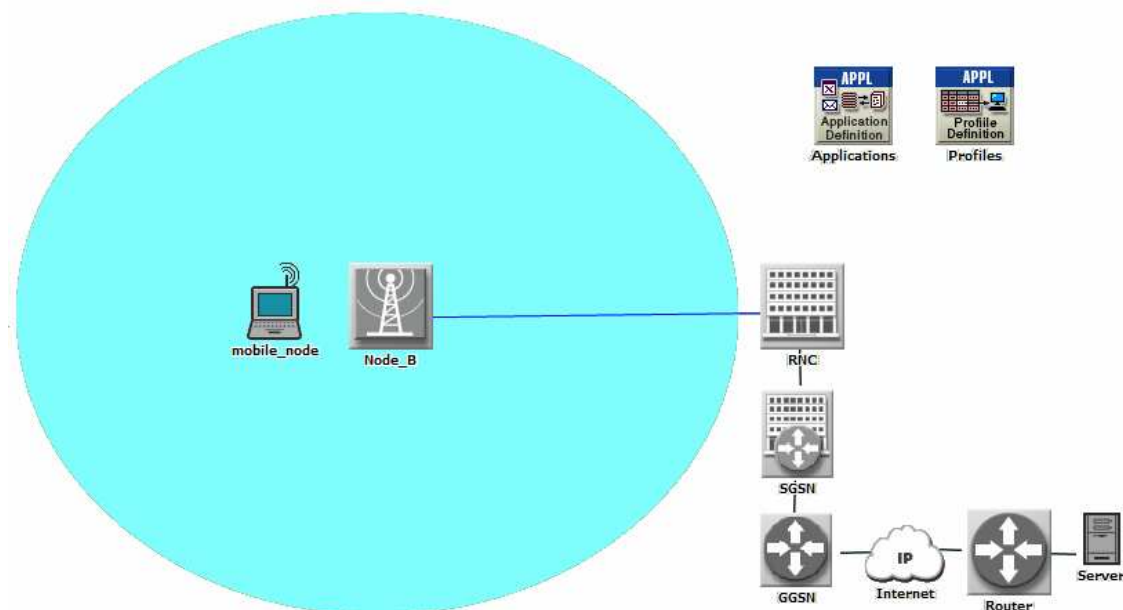
Výsledný odhad zátěže η_{UL}^S však bude odlišný od skutečné zátěže buňky, nejen v okamžitých, ale i průměrných hodnotách, pokud jednotlivé parametry při výpočtu nebudou vhodně přizpůsobeny. Při vhodné volbě parametrů dosahuje statistická metoda obdobných výsledků jako metoda založená na měření. Početní metody navíc předpokládají ideální prostředí pro šíření signálu, kdežto simulace používá daleko podrobnější modely přenosového útlumu, rušení atd. a navíc počítá i s přenosem signalizace a dalších režijních dat.

Downlink

Řízení přístupu ve směru downlink je založeno na kontrole dostupnosti kódu a vysílacího výkonu, což jsou dva rádiové zdroje využívané každým spojením. Spojení bude přijato (povoleno) pouze pokud jsou oba zdroje dostupné. Stejně jako ve směru uplink může být řízení přístupu ve směru downlink založeno na měření nebo na statistických odhadech [3].

I.II Postup

Situaci simulovanou v OPNET Modeleru ukazuje Obr. 1.



Obr. 1: Schéma sítě v OPNET Modeleru

1) Výpočet kapacity buňky

Zátěž (a odpovídající kapacitu) buňky určete pomocí dvou následujících metod:

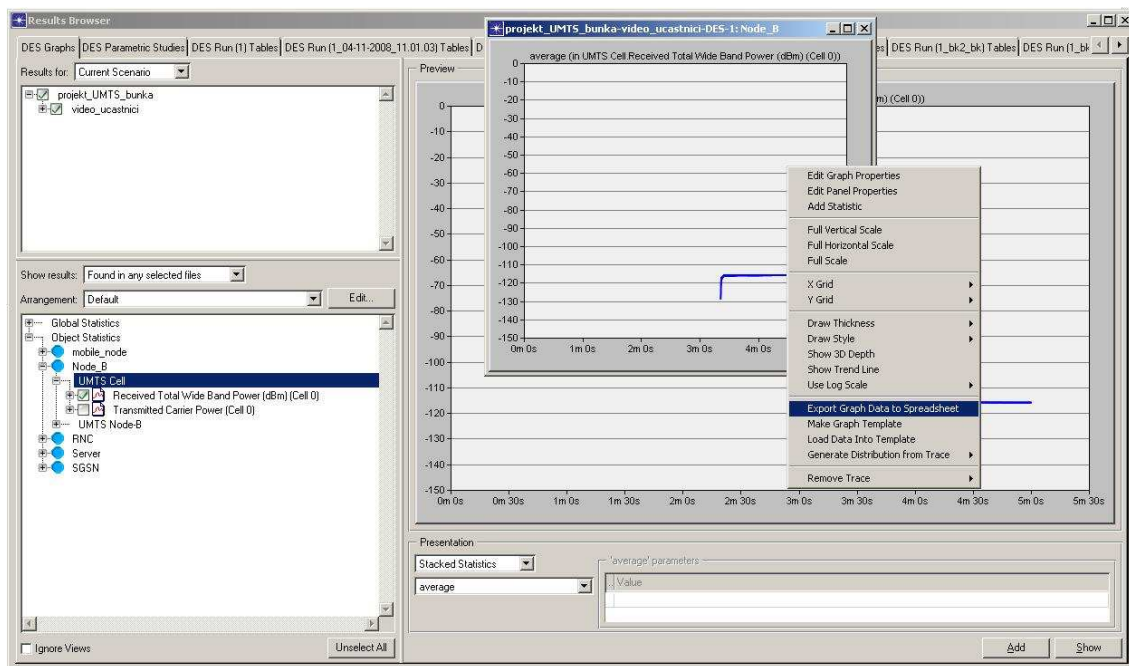
a) Metoda založená na měření

Spusťte Opnet modeler a otevřete projekt *UMTS_bunka*. V projektu je připravena UMTS síť s jednou buňkou a jedním uživatelem, který využívá službu videokonference s konstantní přenosovou rychlostí. Pro výpočet zátěže buňky ve směru uplink slouží vzorec (4.2). Úroveň šumu v buňce P_N je nastavena v *RNC – edit attributes – UMTS RNC parameters – admission control parameters – not affected by service type – thermal noise power spectral density*. Vztahuje se k užitečné šířce pásma $W = 3,84 \cdot 10^6$ MHz.

Celkový přijatý výkon u Node B zjistíte simulací – klikněte na ikonu s běžcem *configure/run DES* a spusťte simulaci. Doba simulace nemusí být dlouhá, stačí pět minut. Po skončení simulace zobrazte výsledky (pravé tlačítko na prázdné části mapy – *view results*) a zobrazte průběh hodnoty *Object statistics – Node B – UMTS cell – Received Total Wide Band Power* ve zobrazení *average*. Kliknutím na *show* zobrazte graf samostatně, klikněte na oblast grafu pravým tlačítkem a vyberte *export graph data to spreadsheet* (viz Obr. 2). Hodnoty z grafu se tak zobrazí v aplikaci MS Excel a můžete si opsat hodnotu přijímaného výkonu (pro konkrétní časovou hodnotu, nejlépe zhruba v polovině průběhu).

Nyní můžete dosadit do vzorce (4.2), hodnoty je třeba převést z decibelů na absolutní hodnotu, a spočítat aktuální úroveň zátěže buňky.

Postup zopakujte pro dva a čtyři uživatele v buňce. Objekt mobilní stanice zkopírujte a vložte poblíž původního terminálu.



Obr. 2: Exportování dat z výsledků simulace

b) Statistická metoda

Z výsledků předchozí simulace zjistíte hodnoty přenosové rychlosti dat uživatele (*Object statistics - mobile_node - Video Conferencing - Traffic Sent*, zobrazení *As Is*) a E_b/N_0 (*Object statistics - mobile_node - UMTS UE RLC/MAC per phy chnl - Uplink Actual E_b/N_0* , zobrazení *average*) stejným způsobem jako v předchozím bodě a nejlépe ve stejném čase simulace. Na počtu účastníků v simulaci nezáleží, tyto dvě hodnoty jsou ve všech případech stejné.

Podle vzorce (4.6) vypočítejte zátěž buňky způsobenou jedním uživatelem (nezapomeňte převést E_b/N_0 na absolutní hodnotu). Protože všichni uživatelé v této situaci mají stejné parametry, lze zátěž pro daný počet uživatelů určit prostým násobením zátěže způsobené jedním uživatelem.

2) Simulace kapacity buňky v OPNET Modeleru

Ověřte chování sítě simulací:

a) Simulace zátěže buňky

V síti z předchozího bodu nakopírujte větší počet mobilních stanic a spusťte simulaci. Podle výsledků simulace zjistíte počet komunikujících stanic (nekomunikující mají nulovou přenosovou rychlost a ostatní parametry). Z bodu 1) b) zjistíte možný počet účastníků při maximální dovolené zátěži $\eta_{\max} = 0,75$. Stejná hodnota maximální dovolené zátěže je přednastavena i v simulované síti v *RNC - edit attributes - UMTS RNC parameters - admission control parameters - not affected by service type - uplink load factor*. Porovnejte obě hodnoty.

b) Vliv přenosové rychlosti na kapacitu

U jedné mobilní stanice změňte používanou službu na profil s vyšší přenosovou rychlostí (*edit attributes - applications - supported profiles* a nastavený *video_prof* změňte na *video_prof2*). Spusťte simulaci a zkontrolujte počet komunikujících stanic.

Otázky k úloze

- Čím je určena kapacita buňky v UMTS?
- Zkuste uvést výhody a nevýhody metod pro určení zátěže ve směru uplink.
- Proč se liší výsledky početních metod a simulace v OPNET Modeleru?
- Proč má datová přenosová rychlost uživatele vliv na kapacitu buňky?

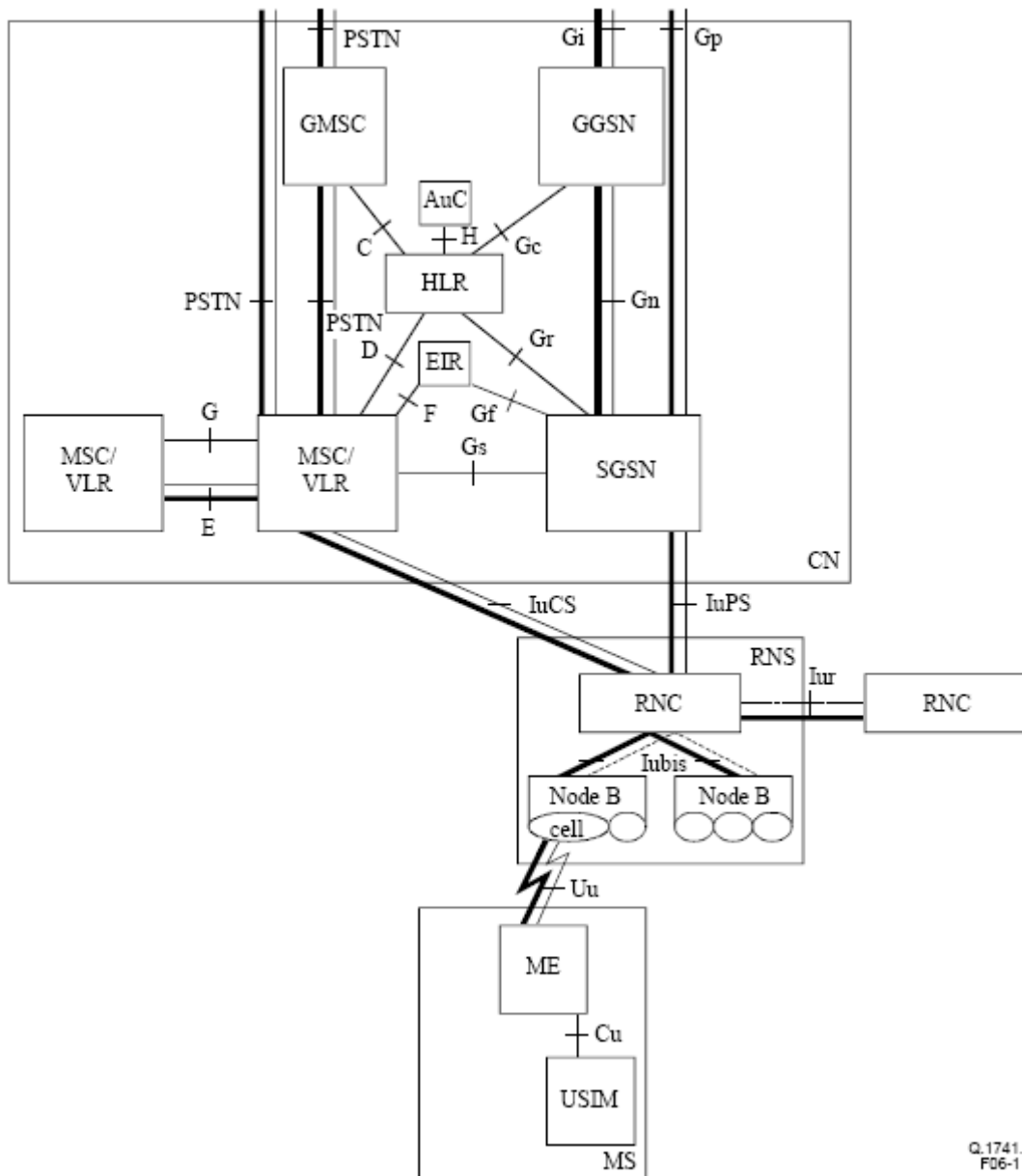
Použitá literatura

- [1] BEŠŤÁK, R. *UMTS* [online]. 1999 [cit. 2007-12-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.comtel.cz/files/download.php?id=2748>>.
- [2] HANUS, S., FENCL, J., ŠTENČEL, V. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*. Skripta VUT, Brno, 2005.
- [3] PERÉZ-ROMERO, J., et al. *Radio Resource Management Strategies In UMTS*. Chichester (England): Willey, c2005. 345 s. ISBN 0-470-02277-9.

II SCHÉMA STRUKTURY UMTS SÍTĚ (R 99)

Silné linie – rozhraní pro přenos uživatelských dat

Tenké linie – rozhraní pro přenos signalizace



Převzato z ITU-T Recommendation Q.1741.1.