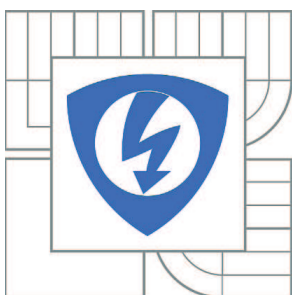


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ANALÝZA PARAMETRŮ A KOMUNIKAČNÍCH PROTOKOLŮ NA RÁDIOVÉM ROZHRANÍ SÍTÍ UMTS

ANALYSIS OF PARAMETERS AND COMMUNICATION PROTOCOLS
ON RADIO INTERFACE OF UMTS NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

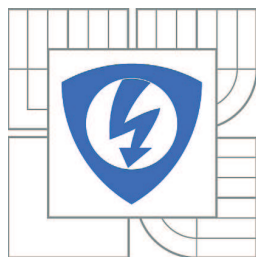
Bc. JAN PLHÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÍT NOVOTNÝ, Ph.D.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Jan Plhák

ID: 77780

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Analýza parametrů a komunikačních protokolů na rádiovém rozhraní sítí UMTS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou sítí UMTS, zaměřte se především na její přístupovou část UTRAN. Prostudujte konfigurační parametry, které ovlivňují chování mobilního terminálu v přístupové části sítě UMTS. Vyhledejte dostupné možnosti analýzy rádiového rozhraní sítě UMTS a za pomoci nástrojů analyzujte parametry v různých buňkách sítě a zhodnoťte, v čem se chování terminálů v těchto buňkách liší a co to má za dopad na provozování aplikací. Na dané téma vytvořte laboratorní úlohu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] STAVROULAKIS, P. Third Generation Mobile Telecommunications Systems: UMTS and IMT-2000. Springer-Verlag, ISBN 3-540-67850-6, Berlin, 2005.

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

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 26.5.2010

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

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Anotace

V současné době se sítě třetí generace začínají stále více používat a svými parametry výrazně překonávají stávající mobilní sítě druhé generace. Na rozdíl od sítí starších generací se jedná o sítě datově orientované, poskytují tedy uživateli především lepší podporu datových a multimediálních služeb. Nejrozšířenějším typem sítě třetí generace je síť UMTS, která byla navržena jako nástupce sítě GSM.

Diplomová práce je zaměřena na parametry a komunikační protokoly na rádiovém rozhraní sítě UMTS. Na parametrech rádiového rozhraní závisí chování mobilního terminálu během využívání služeb této sítě. Tato práce popisuje jednotlivé protokoly rádiového rozhraní a jednotlivé procedury, jež musí UE při svém pobytu v buňce vykonávat. Teoretická část práce se zabývá popisem této sítě a jednotlivých procedur a parametrů, které je ovlivňují. Praktická část je zaměřena na možnosti měření rádiového rozhraní a na měření jednotlivých procedur v reálných UMTS sítích a některé z nich jsou simulovány v simulačním prostředí. Jako součást této práce je vytvořena laboratorní úloha na dané téma.

Klíčová slova: 3G, UMTS, UTRAN, FTD, Opnet Modeler

Abstract

These times the third generation cellular networks are getting in use increasingly and they dramatically exceed the parameters of second generation networks. Third generation networks are in contrast to older generations data-oriented, providing better maintenance in data and multimedia services. The most widespread third generation network is the UMTS, designed as successor of GSM network.

Master's thesis is focused on parameters and communication protocols of radio interface of UMTS network. Parameters of radio interface affect the behaviour of mobile terminal through utilization of network services. This thesis describes individual protocols of radio interface and individual procedures, which the mobile terminal have to perform through its staying in the cell. Theoretical part of this thesis considers description of the UMTS network and individual procedures and parameters. Practical part is focused on measuring the radio interface and individual procedures in real UMTS networks. Some procedures are simulated in network simulation software. This thesis includes a lab task focused on this theme.

Keywords: 3G, UMTS, UTRAN, FTD, Opnet Modeler

Bibliografická citace mé práce:

PLHÁK, J. *Analýza parametrů a komunikačních protokolů na rádiovém rozhraní sítě UMTS*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. XY s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svůj diplomovou práci na téma „Analýza parametrů a komunikačních protokolů na rádiovém rozhraní sítí UMTS“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 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 mojí diplomové práce doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D. za odbornou a metodickou pomoc a za čas mně a mé práci věnovaný.

V Brně dne

.....

podpis autora

OBSAH

Úvod.....	12
1 Moderní mobilní sítě.....	13
1.1 Sítě 3. generace	14
1.2 Sítě 4. generace	15
2 UMTS	17
2.1 W-CDMA.....	17
2.2 Struktura UMTS	19
2.2.1 Core Network.....	20
2.2.2 UTRAN.....	20
2.3 Rádiové rozhraní	21
2.3.1 Alokace spektra	22
2.3.2 UMTS protokoly.....	23
2.3.2.1 Protokoly rádiového rozhraní.....	25
2.3.2.1.1 Protokol MAC (Medium Access Control).....	26
2.3.2.1.2 Protokol RLC (Radio Link Control).....	27
2.3.2.1.3 Protokol PDCP (Packet Data Convergence Protocol).....	27
2.3.2.1.4 Protokol BMC (Broadcast Multicast Control).....	27
2.3.2.1.5 Protokol RRC (Radio Resource Control)	28
2.3.3 Kanály v UMTS.....	31
2.3.3.1 Logické kanály	31
2.3.3.2 Transportní kanály.....	31
2.3.3.3 Fyzické kanály.....	32
2.4 UMTS Procedury	34
2.4.1 Synchronizace UE se sítí	34
2.4.1.1 Výběr PLMN.....	34
2.4.1.2 Výběr Node B.....	35
2.4.1.2.1 Synchronizace s Node B.....	35
2.4.2 Chování UE v Idle módu	38
2.4.3 Vysílání systémových informací	39
2.4.4 Paging	39
2.4.5 Řízení výkonu	40
2.4.6 RRC signalizace.....	41
2.4.6.1 Hovor iniciovaný mobilní stanicí.....	41
2.4.6.2 Hovor iniciovaný sítí.....	43
2.4.6.3 Datové spojení.....	43
2.4.7 RRC funkce pro zajištění mobility spojení.....	44
2.4.8 Procedury měření rádiového rozhraní	48
2.4.8.1 Typy RRC měření	48
2.4.8.2 Kategorie buněk	48
2.4.8.3 Inicializace intrafrekvenčního měření.....	49

2.4.8.4	Události intrafrekvenčního měření	50
2.4.8.5	Interfrekvenční měření	52
2.4.8.6	Další typy RRC měření	52
3	Měření sítě UMTS	54
3.1	Aplikace Nokia FTD	54
3.1.1	Instalace FTD.....	54
3.1.2	Měření pomocí FTD	54
3.1.3	Skupina 41: WCDMA	55
3.1.3.1	Displej 41.01: RACH zpráva	55
3.1.3.2	Displej 41.02: Stav řízení výkonu v uplinku.....	56
3.1.3.3	Displej 41.03: Stav řízení výkonu v downlinku.....	57
3.1.3.4	Displej 41.10: Shrnutí okolních FDD buněk.....	57
3.1.3.5	Displej 41.11: Hodnocení FDD buněk.....	58
3.1.3.6	Displej 41.12: Shrnutí naměřených hodnot FDD.....	59
3.1.3.7	Displej 41.13: Shrnutí buněk na intra frekvenci	59
3.1.3.8	Displej 41.17: Detailní informace o vybrané buňce.....	60
3.1.4	Skupina 46: WCDMA RAN systém.....	61
3.1.4.1	Displej 46.01: RRC stav.....	61
3.1.4.2	Displej 46.02: RRC zprávy	62
3.1.4.3	Displej 46.03: Hodnoty RNTI.....	62
3.1.4.4	Displej 46.04: Schopnosti šifrování	63
3.1.4.5	Displej 46.05: Selektce buňky	63
3.2	Měření parametrů reálné sítě.....	64
3.2.1	Přihlášení UE do sítě	64
3.2.2	Hlasový hovor.....	66
3.2.3	Řízení výkonu	67
3.2.4	Handover.....	67
3.2.5	Reselektce buňky	69
3.2.6	Datové spojení	69
3.2.7	Měření parametrů sítě v různých podmínkách	71
3.2.7.1	Měření odlišných buněk sítě	71
3.2.7.2	Měření parametrů datového spojení.....	72
3.3	Simulace modelu reálné sítě.....	73
	Závěr.....	75
	Použitá literatura.....	76
	Seznam zkratk	78
	Příloha – Laboratorní úloha.....	80

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Princip buňkové struktury	13
Obr. 2.1: Technika metody CDMA (odstíny reprezentují různé kanály).....	18
Obr. 2.2: Rozprostírání pomocí DS-WCDMA.....	19
Obr. 2.3: Základní struktura UMTS	19
Obr. 2.4: Základní struktura CN.....	20
Obr. 2.5: Struktura UTRAN	21
Obr. 2.6: Duplexní techniky v UMTS	22
Obr. 2.7: UMTS protokoly	24
Obr. 2.8: Radio Access Bearer	24
Obr. 2.9: Vrstvový model protokolů rádiového rozhraní.....	25
Obr. 2.10: Mapování mezi logickými a transportními kanály ve směru uplink i downlink	27
Obr. 2.11: Módy RRC	29
Obr. 2.12: Průběh synchronizace UE s Node B	36
Obr. 2.13: Struktura rádiového rámce RACH zprávy	37
Obr. 2.14: Struktura synchronizačního kanálu.....	37
Obr. 2.15: Techniky řízení vysílacího výkonu v UMTS.....	40
Obr. 2.16: Signalizace při hovoru vyvolaném mobilní stanicí.....	42
Obr. 2.17: Signalizace při hovoru vyvolaném sítí.....	43
Obr. 2.18: Signalizace při datovém spojení	44
Obr. 2.19: Soft handover	45
Obr. 2.20: RSSI a P-CPICH RSCP	50
Obr. 2.21: Vliv parametrů hystereze, time to trigger a threshold.....	51
Obr. 2.22: Vliv parametru Offset	52
Obr. 3.1: Aplikace FTD.....	54
Obr. 3.2 Schéma m.....	64
Obr. 3.3: RACH zpráva.....	65
Obr. 3.4: RRC komunikace při přihlášení do sítě	65
Obr. 3.5: RRC stav při hlasovém hovoru	66
Obr. 3.6: RRC komunikace při hlasovém hovoru	66
Obr. 3.7: Řízení výkonu ve směru downlink	67
Obr. 3.8: Přehled buněk zapojených do soft handoveru	68
Obr. 3.9: RRC komunikace při hlasovém hovoru	68
Obr. 3.10: Aktivní doména při datovém spojení.....	69
Obr. 3.11: RRC komunikace při datovém spojení	70
Obr. 3.12: Hodnoty RSSI při navázaném hovoru	71
Obr. 3.13: Porovnání hodnot SIR v odlišných buňkách.....	72
Obr. 3.14: Model sítě UMTS	73
Obr. 3.15: Přenos zpráv RACH při vstupu do buněk.....	74
Obr. 3.16: Aktivní sada UE během handoveru	74
Obr. 3.17: Průběhy signálů na kanálu CPICH	74

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Frekvenční spektrum UMTS.....	22
Tab. 2.2: Řídicí logické kanály	31
Tab. 2.3: Logické kanály pro uživatelská data.....	31
Tab. 2.4: Transportní kanály	32
Tab. 2.5: Fyzické kanály	33
Tab. 2.6: Přihlašování UE do sítě.....	38
Tab. 2.7: Typy RRC měření a skupiny identifikátorů.....	48
Tab. 3.1: Displej 41.01	55
Tab. 3.2: Popis hodnot displeje 41.01	55
Tab. 3.3: Displej 41.02	56
Tab. 3.4: Popis hodnot displeje 41.02	56
Tab. 3.5: Displej 41.03	57
Tab. 3.6: Popis hodnot displeje 41.03	57
Tab. 3.7: Displej 41.10	57
Tab. 3.8: Popis hodnot displeje 41.10	58
Tab. 3.9: Displej 41.11	58
Tab. 3.10: Popis hodnot displeje 41.11	58
Tab. 3.11: Displej 41.12	59
Tab. 3.12: Popis hodnot displeje 41.12	59
Tab. 3.13: Displej 41.13	59
Tab. 3.14: Popis hodnot displeje 41.13	60
Tab. 3.15: Displej 41.17	60
Tab. 3.16: Popis hodnot displeje 41.17	60
Tab. 3.17: Displej 46.01	61
Tab. 3.18: Popis hodnot displeje 46.01	61
Tab. 3.19: Displej 46.02	62
Tab. 3.20: Popis hodnot displeje 46.02	62
Tab. 3.21: Displej 46.03	62
Tab. 3.22: Popis hodnot displeje 46.03	62
Tab. 3.23: Displej 46.04	63
Tab. 3.24: Popis hodnot displeje 46.04	63
Tab. 3.25: Displej 46.05	63
Tab. 3.26: Popis hodnot displeje 46.05	63
Tab. 3.27: Stavby a procedury při přihlášení do sítě.....	65
Tab. 3.28: Stavby a procedury při hlasovém hovoru	67
Tab. 3.29: Stavby, procedury a buňky při soft handoveru	68
Tab. 3.30: Reselekce buněk.....	69
Tab. 3.31: Stavby a procedury při datovém spojení.....	70
Tab. 3.32: Parametry datového spojení.....	72

ÚVOD

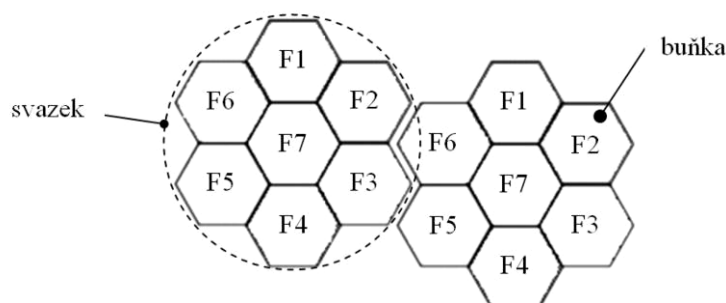
V dnešní době se nároky na mobilní sítě stále zvyšují, ať už z pohledu stále se zvyšujícího počtu uživatelů, tak také z pohledu nabízených služeb. Sítě třetí generace jsou oproti sítím druhé generace datově orientované, nabízejí tedy především lepší podporu datových služeb včetně multimediálních. Mobilní operátoři na zvýšení nároků na jejich sítě reagují buď optimalizací stávajících sítí druhé generace, nebo výstavbou a rozšiřováním sítí třetí generace, kdy jsou schopni uživatelům nabízet mnohem větší přenosové rychlosti a podporu dosud nestandardních služeb.

Práce je zaměřena na rádiové rozhraní sítě UMTS, tedy na její přístupovou část UTRAN. V úvodní části práce je poskytnut úvod do systému UMTS, popis přístupové sítě UTRAN a také jsou popsány protokoly i jednotlivé procedury v přístupové síti a parametry, které ovlivňují chování mobilního terminálu v síti. V další části jsou rozebrány možnosti monitorování sítě UMTS a pomocí vybraného řešení je realizována praktická část, kde jsou ověřeny jeho funkčnost a schopnosti při použití v reálné síti. Dílčím úkolem je změřit parametry reálné sítě a ověřit jejich význam pro komunikaci na rádiovém rozhraní při realizaci služeb a procedur. Určité parametry jsou závislé na typu buňky, a bude tedy vhodné provést měření v různých buňkách sítě UMTS a zjistit tak rozdíly parametrů těchto buněk, popřípadě provést i měření v buňkách sítí jiných operátorů a porovnat parametry přenosu.

Hlavní část je tedy zaměřena na možnosti praktického měření parametrů sítě, na kterou navazují výsledky měření jednotlivých UMTS procedur a spojení. V poslední části je provedena simulace UMTS spojení v simulačním prostředí Opnet Modeler. Součástí této práce je i laboratorní úloha, ve které student získá znalost rádiového rozhraní, naučí se pracovat s monitorovacím software a provede simulaci modelu sítě v simulačním prostředí.

1 MODERNÍ MOBILNÍ SÍŤ

V roce 1946 byl v laboratořích firmy Bell formulován princip mobilních komunikačních systémů na buňkovém principu pro mobilní komunikaci. Hlavními znaky tohoto systému jsou velmi efektivní hospodaření s frekvenčním spektrem, možnost použití handoveru a podstatně menší vysílací výkon na straně základnové i mobilní stanice. Princip tohoto systému spočívá v rozdělení oblasti, která má být obsluhována, do svazků buněk, kde každý svazek je rozdělen například na 7 buněk (viz Obr. 1.1) a uvnitř každé z nich je jedna základnová stanice s určitou přidělenou skupinou kanálů pro komunikaci s mobilními účastníky, pro které je tato buňka tou nejvhodnější pro spojení s mobilní sítí. Opakováním svazků je potom možno pokrýt neomezeně velké území.



Obr. 1.1: Princip buňkové struktury

V každé buňce jsou použity rozdílné kanály, tyto kanály lze opakovat ihned v sousedním svazku. Musí být dodrženo pravidlo, že vzdálenost buněk používajících stejnou frekvenci musí být rovna alespoň pětinásobku jejich poloměru z důvodu interferenčních rizik. Tento systém tudíž potřebuje na pokrytí libovolně velkého území mnohem méně kanálů než dříve navržený ostrůvkovitý systém, u kterého bylo celé území pokryto jednou základnovou stanicí. Ovšem nevýhodou je, že oproti ostrůvkovitému systému potřebujeme na pokrytí stejně velké oblasti oproti jedné základnové stanici stanic sedm, popřípadě méně při použití vícesektorových základnových stanic [7].

Podle velikosti pokrytého území dělíme buňky na:

- **Velké buňky** - poloměr větší než 3 km, antény základnových stanic umístěny nad nejvyšším bodem okolní zástavby
- **Malé buňky** - poloměr menší než 3 km, antény základnových stanic umístěny nad nejvyšším bodem okolní zástavby, ale výše než je střední výška zástavby
- **Mikrobuňky** - poloměr menší než 300 m, antény základnových stanic pod úrovní střech a okolních budov, signál se šíří díky rozptylu a ohybu kolem budov
- **Pikobuňky** - dosah několik desítek metrů, umístěny uvnitř budov a v místech s vysokou koncentrací účastníků

Dnes nejrozšířenějším systémem je systém GSM (Global System for Mobile communications). Byl vyvíjen od roku 1982. Používá kombinaci kmitočtového a časového dělení spektra (FDMA/TDMA). Celé dostupné spektrum je rozděleno na jednotlivá frekvenční pásma a ta jsou poté rozčleněna na tzv. timesloty (8 nebo 16), které jsou následně přidělovány uživatelům nebo jsou vyhrazena pro přenos řídicích informací. Základním prvkem systému GSM pro autentizaci uživatelů je SIM (Subscriber Identity Module), který zabezpečuje přihlášení mobilní stanice do sítě a její identifikaci.

Pozdější rozšíření sítě GSM o technologie GPRS, HSCSD a EDGE, Evolved EDGE jsou zlepšení možností sítě pro přenos dat.

HSCSD (Hi-Speed Circuit Switched Data) využívá techniky přepojování okruhů, s možností využití více timeslotů současně. Dosahovaná přenosová rychlost je až 57,6 kbit/s v obou směrech pro stanice umožňující využít současně až 4 časové sloty, každý s kapacitou 14,4 kb/s.

GPRS (General Packet Radio Service) je stavěn na paketovém přenosu. Data jsou přenášena po částech, není tedy třeba souvislý kanál. Přenosová rychlost až 171,2 kb/s při použití všech 8mi timeslotů.

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) především díky odlišné technice modulace umožňuje dosahovat rychlosti teoreticky až 470 kbit/s (při použití 8-mi slotů)

Evolved EDGE rozšiřuje EDGE až k dosažení přenosových rychlostí až do 1Mbit/s (dosaženo snížením latence, možností pracovat na dvou nosných frekvencích a použitím odlišné modulace). [5] [11].

1.1 SÍŤE 3. GENERACE

Největší změnou oproti všem předešlým generacím sítí je u systémů třetí generace změna orientace na datové (spojité nebo nespojitě) digitální přenosy. Cílem je také podstatné zvýšení přenosových rychlostí oproti systémům druhé generace.

Již v roce 1986 se objevily první iniciativy ITU (International Telecommunication Union) o vytvoření budoucího systému pro pozemní mobilní komunikaci. Na tomto konceptu pracovala ITU do roku 2000, kdy byl vydaný nový standard pod názvem IMT – 2000 (International Mobile Telecommunications by the year 2000). Požadavky na tento systém byly následující - integrace širokého spektra telekomunikačních služeb s různým stupněm kvality do jednoho unifikovaného systému, zvýšení přenosových rychlostí pro uživatele s vysokým stupněm mobility minimálně 384 kbit/s, pro uživatele s malým stupněm mobility 2Mbit/s, celosvětová kompatibilita, lepší využití rádiových frekvencí, identifikace účastníka nezávisle na mobilním terminálu pomocí USIM (Universal Subscriber Identity Module – univerzální uživatelský identifikační modul).

ITU definovalo jako pásmo vhodné pro implementaci 3G frekvence mezi 400 MHz a 3GHz. Faktem je, že tento plán se nepodařilo zrealizovat globálně. Praktickým požadavkem

bylo, aby nově zaváděné systémy plynule navazovaly na ty stávající. Zatímco v Evropě a dalších zemích světa mají systémy 3G navazovat na standard GSM, v Americe jsou dosavadní systémy založené také na CDMA. V Americe také již nebylo volné dostatečně velké kmitočtové pásmo. Hlavně z tohoto důvodu došlo k diferenciaci 3G systémů v rámci Ameriky (používá systém zvaný CDMA2000) a Evropy (UMTS). Existuje ještě mutace Japonská (podobná Evropské) a Čínská [5] [10].

UMTS sítě jsou od roku 2006 postupně vylepšovány technologií HSPA (High Speed Packet Access), HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) pro downlink a HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pro uplink, tyto sítě jsou pak známy jako 3,5G. HSPA umožňují teoretické přenosové rychlosti ve směru downlink až 21Mbit/s a ve směru uplink až 5,8Mbit/s. Nasazením technologie MIMO lze docílit dalšího zvýšení přenosové kapacity. To je součástí technologie HSPA+.

1.2 SÍŤE 4. GENERACE

Systémy čtvrté generace jsou dalším krokem ve vývoji bezdrátových telekomunikačních sítí. Hlavním projektem je 3GPP LTE (Long Term Evolution), který by měl zajistit vylepšení UMTS pro budoucí požadavky. Cílem je zlepšení efektivity, vylepšení služeb a lepší integrace s ostatními standardy. LTE není nový standard, měl by vycházet ze standardu UMTS Release 8, avšak s řadou změn, srovnáme-li architekturu s první verzí sítí UMTS Release 99.

U těchto systémů se předpokládá, že budou založeny plně na protokolu TCP/IP, tedy pouze na technice přepojování paketů [8], tzv. All-IP architektura.

Specifické cíle sítě čtvrté generace, v podstatě bezdrátového širokopásmového internetového systému, zahrnují:

- Rychlost pro download 100 Mbit/s, pro upload 50 Mbit/s pro každých 20 MHz spektra
- Nejméně 200 aktivních uživatelů v každé 5 MHz buňce. (tzn. 200 aktivních telefonních hovorů)
- Latence 5ms pro malé IP pakety
- Zvětšená flexibilita spektra, s šířkou pásma 1,25 MHz. Šířka pásma 5 MHz v sítích 3G omezuje i maximální přenosové rychlosti pro účastníky
- Optimální velikost buňky 5 km, velikost okolo 30 km s dostatečným výkonem, a velikosti buňek do 100 km s přijatelným výkonem
- Současné nasazení se stávajícími standardy jako GSM/GPRS nebo UMTS založené na W-CDMA

LTE standard podporuje jak Frequency Division Duplexing (FDD), tak Time Division Duplexing (TDD). Část standardu LTE je tzv. System Architecture Evolution, čistě IP síťová architektura vytvořená pro nahrazení GPRS jádra sítě (CN) a pro zajištění podpory dalších systémů jako GPRS nebo WiMax.

LTE Advanced je standard, který je nyní standardizován jako významné vylepšení LTE. Pokud to bude možné, bude LTE Advanced pouze softwarové vylepšení LTE sítě. První požadavky organizace 3GPP na síť LTE Advanced byly schváleny v červnu 2008. Rychlost přenosu dat by měla dosahovat až 1 Gbit/s, mělo by být zajištěno rychlejší řízení výkonu a zlepšené chování sítě při pohybu UE na hranici buňky [18].

2 UMTS

System UMTS je systém používaný především v Evropě a byl navržen jako nástupce systému GSM. Síť UMTS odpovídá standardu IMT – 2000 a je možno ji realizovat na jádře již stávajících sítí GSM (mimo výjimky). Mezi sítěmi UMTS a GSM musí být zajištěna kompatibilita z důvodu postupného přecházení účastníků na novou technologii (tudíž obě sítě musí být schopny fungovat současně).

O standardizaci UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) se stará organizace 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) založená v prosinci 1998.

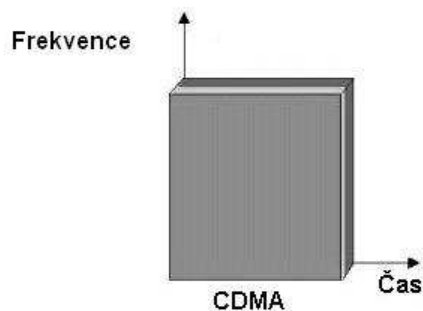
Vývoj UMTS sítí popisují jednotlivé verze (releases). Každá verze je navržena pro zavedení nových funkcí a vylepšení pro stávající verzi (vedou nejdůležitější změny).

- **Release 99** – přenosové funkce, kompatibilita s GSM
- **Release 4** – multimediální zprávy, IP multimediální služby (IMS)
- **Release 5** – subsystém IP multimédií (IMS), podpora IPv6, HSDPA
- **Release 6** – integrace WLAN, podpora multicastu a broadcastu pro multimédia (MBMS), HSUPA
- **Release 7** – modulace 64QAM pro zvýšení přenosové rychlosti, technologie MIMO, služby s přepínáním okruhů přes HSPA
- **Release 8** – již zaměřena na standardizaci 4G (LTE), all-IP architektura
- **Release 9** – interoperabilita mezi UMTS/LTE a Wimax
- **Release 10** – LTE Advanced

UMTS podporuje v downlinku maximální teoretické přenosové rychlosti do 21Mbit/s (s HSDPA), uživatelé s UE podporující R99 mohou využít rychlosti do 384kbit/s, uživatelé s UE podporující HSDPA až 7,2Mbit/s [2] .

2.1 W-CDMA

Pro sítě třetí generace byla zvolena technologie CDMA (Code Division Multiple Access), což je přístupová metoda kódového dělení. Konkrétně UMTS používá její variantu W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), což je širokopásmová přístupová metoda, která využívá větší šířku pásma (i s postranními pásmy 5MHz). V CDMA neexistuje žádné časové dělení a všichni uživatelé používají přidělené frekvenční pásmo po celou dobu. Jednotliví uživatelé se mezi sebou rozlišují pomocí přiděleného kódu, jeho násobením s původní informací vznikne širokopásmový signál (dojde k rozprostření do spektra) (viz Obr. 2.1) [5] [6].



Obr. 2.1: Technika metody CDMA (odstíny reprezentují různé kanály)

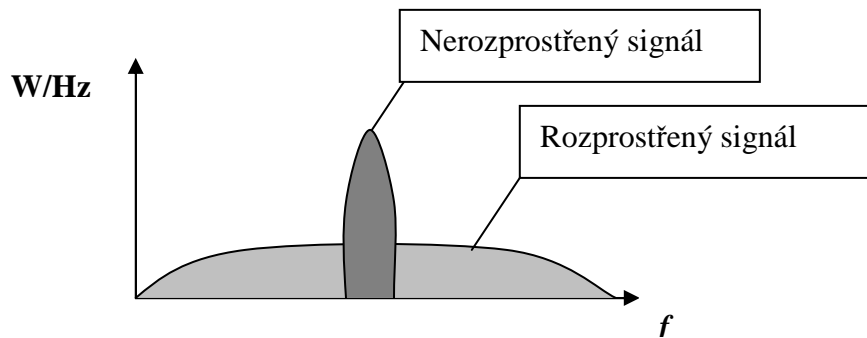
CDMA používá k rozprostření základního signálu tři techniky:

- DS-CDMA (Direct Sequence CDMA) – přímé rozprostírání spektra pomocí nekorelovaných posloupností
- FH-CDMA (Frequency Hopping CDMA) – rozprostírání spektra s přeskokováním kmitočtů
- TH-CDMA (Time Hopping CDMA) – rozprostírání spektra s přeskokováním timeslotů

V UMTS se využívá DS-WCDMA , tato technika se dále dělí na 2 varianty:

- DS-WCDMA-FDD (DS-WCDMA- Frequency Division Duplex) – spojení probíhá mezi koncovým zařízením a základnovou stanicí na oddělených frekvencích v uplinku a downlinku
- DS-WCDMA-TDD (DS-WCDMA- Time Division Duplex) – spojení probíhá v uplinku i downlinku na jedné frekvenci. Tato spojení se pak v pásmu střídají.

Rozprostření spektra u WCDMA je proces, při kterém je původní digitální signál v základním pásmu vynásoben signálem rozprostírajícím, který má mnohem větší přenosovou rychlost (viz Obr. 2.2). Bity digitálního signálu v základním pásmu jsou označovány jako symboly, datový tok tohoto signálu nazýváme symbolová rychlost. Element rozprostírajícího signálu je označován jako čip, datový tok tohoto signálu je označován jako čipová rychlost. V 3G systémech používajících metodu WCDMA byla čipová rychlost stanovena na 3.84 Mcps/s (megačipů za sekundu). Doba trvání jednoho čipu je tedy 0,00000026041 s.

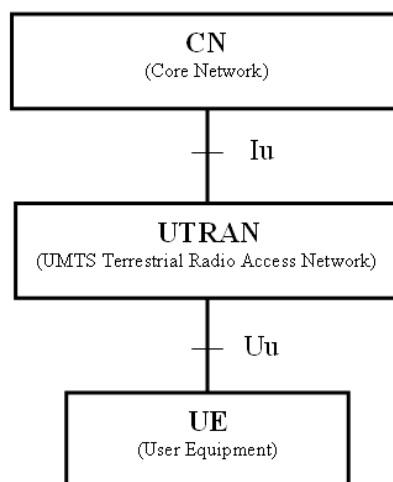


Obr. 2.2: Rozprostírání pomocí DS-WCDMA

Kódy používané v CDMA jsou určeny k tomu, aby byla zajištěna jedinečná identifikace hovoru. Jedinečné kódy by neměly nijak korelovat s ostatními kódy, ani k časově posunuté verzi kódu samotného. Rozprostírající kódy jsou pseudonáhodné kódy, kanálové kódy jsou v uplinku určeny k oddělení datových a kontrolních kanálů u jednoho terminálu (v downlinku k oddělení uživatelů v rámci jedné buňky), skramblovací kódy jsou určeny v uplinku k oddělení uživatelů a v downlinku k oddělení buněk.

2.2 STRUKTURA UMTS

Síť UMTS se skládá ze třech základních částí (viz Obr. 2.3). Na nejvyšší úrovni je to páteřní síť CN (Core Network), která je založená na ATM. Druhou částí je rádiová přístupová síť UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), pomocí které uživatelé přistupují k síti UMTS za použití uživatelských terminálů UE (User Equipment). Mezi těmito částmi sítě byly definovány rozhraní Iu (mezi CN a UTRAN) a Uu (mezi UTRAN a UE) [3] [7].



Obr. 2.3: Základní struktura UMTS

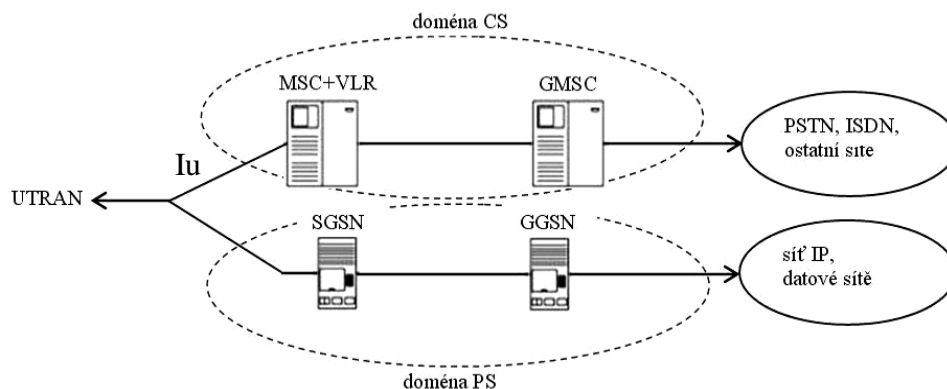
Hlavní funkcí CN je spojování hovorů a směrování paketů. CN také obsahuje databáze a funkce síťového managementu. Jednotlivé uživatelské terminály, které jsou samostatnou částí systému UMTS, komunikují prostřednictvím rádiového rozhraní s přístupovou sítí UTRAN.

2.2.1 Core Network

Jádro sítě CN (Core Network) provádí spojovací funkce (spojování hovorů, směrování paketů), udržuje a aktualizuje důležité uživatelské informace (poloha, bezpečnost, účtování) a zajišťuje spojení do dalších sítí (ISDN, X.25, PSTN, Internet, ...).

Doména CS (Core Network Circuit Switched Domain) zabezpečuje přepínání okruhů. Je tedy vhodná pro služby v reálném čase (hovory, video, ...). Tato doména obsahuje telefonní ústředny MSC a GMSC, které mohou být s určitými změnami převzaty ze současných GSM sítí a zabezpečuje spojení s PSTN (veřejná komutovaná telefonní síť), ISDN (integrovaná síť digitálních služeb) a jinými 2G a 3G sítěmi.

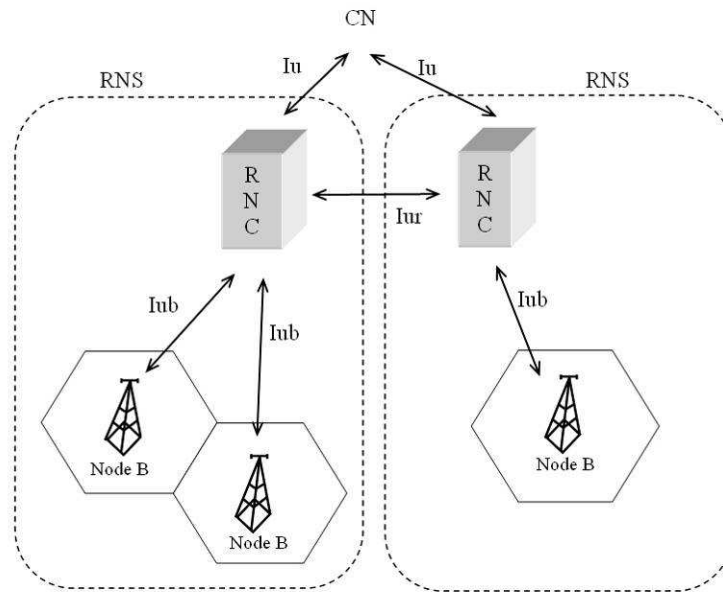
Druhou částí je doména PS (Core Network Packet Switched Domain), která zabezpečuje přepínání paketů. PS je složena z uzlů pro podporu GPRS (SGSN, GGSN), a je napojena na datové sítě, především na síť IP (viz Obr. 2.4).



Obr. 2.4: Základní struktura CN

2.2.2 UTRAN

UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) je síť rádiového přístupu k UMTS, umožňuje uživatelům přístup ke službám páteřní sítě CN. Skládá se z několika subsystémů rádiových sítí RNS (Radio Network Subsystem). Každý RNS je řízen jednotkou RNC (Radio Network Controller), která je dále napojena na CN přes rozhraní Iu (viz Obr. 2.5). Každá jednotka RNC má na starost rádiové zdroje a jejich management pro určitou geografickou oblast a je jednotkou sledující mobilitu účastníka. Kontroluje a ovládá funkčnost několika základnových stanic, které se v systému UMTS nazývají Node B. Node B se pak starají o pokrytí jednotlivých buněk rádiovým signálem.



Obr. 2.5: Struktura UTRAN

Mezi základní funkce RNC patří:

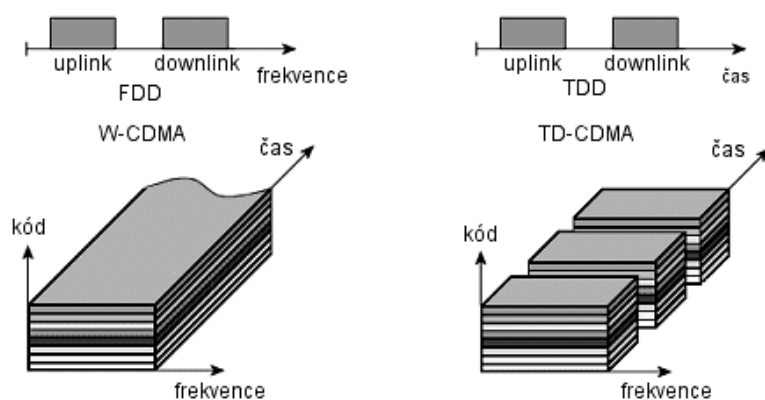
- řízení rádiových prostředků,
- přidělování rádiových kanálů,
- kontrola přístupu,
- přidělování kódů,
- řízení handoveru,
- řízení výkonu,
- makro diverzita,
- šifrování.

Node B plní následující funkce:

- Modulace/demodulace,
- Vysílání / příjem,
- Kódování CDMA fyzických kanálů,
- Diverzitní příjem,
- Ochrana proti chybám,
- Řízení výkonu (Closed Loop Power Control).

2.3 RÁDIOVÉ ROZHRANÍ

Sítě UMTS využívají pro přenos dvou duplexních technik, a to přenosové módy FDD (Frequency Division Duplex – pro uplink a downlink se používají oddělené frekvence) a TDD (Time Division Duplex – pro uplink a downlink se používá stejná frekvence, střídání v čase) (viz Obr. 2.6).



Obr. 2.6: Duplexní techniky v UMTS

2.3.1 Alokace spektra

Spektrum se skládá z jednoho pásma párového (1920-1980 MHz + 2110-2170 MHz) a jednoho pásma nepárového (1910-1920 MHz + 2010-2025 MHz) (viz Tab. 2.1).

Pro nepárová pásma (TDD) je v UMTS využívána technologie TD-CDMA (Time Division CDMA), vhodná pro asymetrické vysokorychlostní datové přenosy, používaná hlavně pro pokrytí uvnitř budov. Pro párová pásma (FDD) je využívána v UMTS technologie W-CDMA (Wideband-CDMA), která je vhodnější pro velkoplošné pokrytí pro hlasové a středně rychlé symetrické datové služby, ale je mnohem náročnější na regulaci výkonu na straně koncového zařízení i základnové stanice [6] [7].

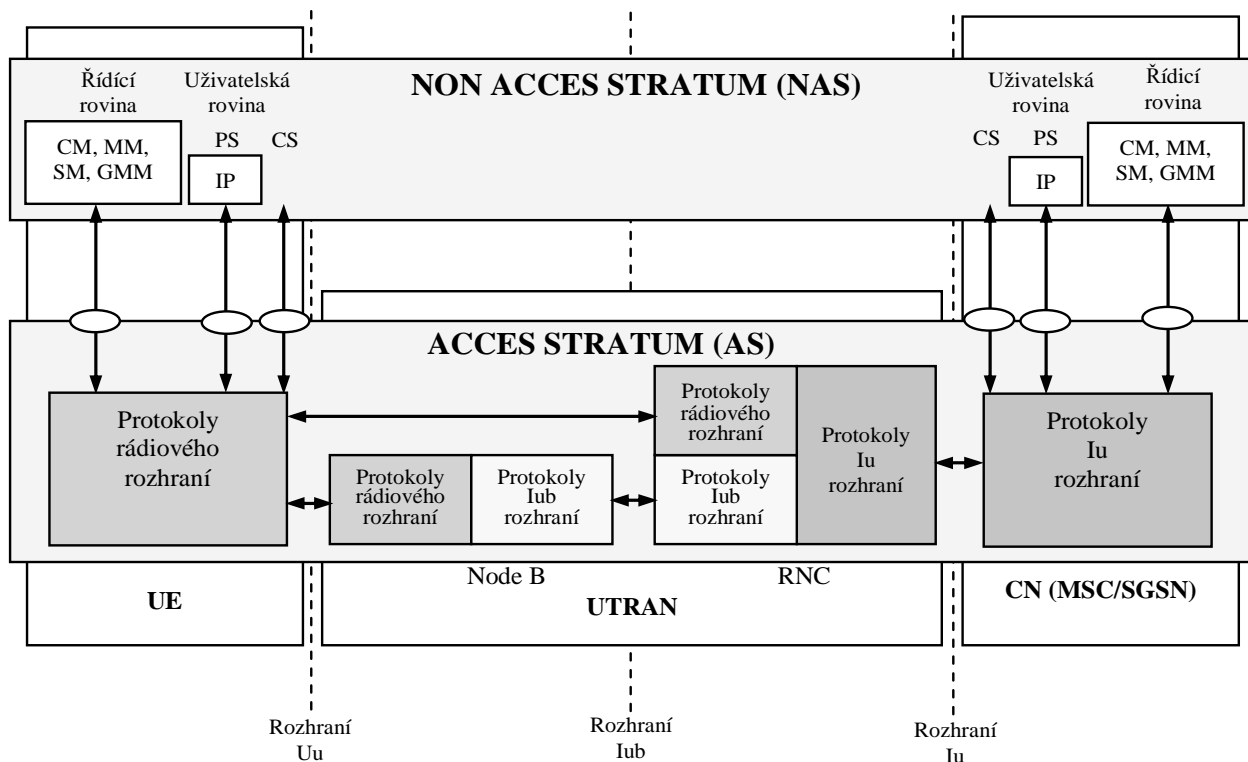
Tab. 2.1: Frekvenční spektrum UMTS

Frekvenční rozsah [MHz]	Šířka pásma [MHz]	Použitá technologie
1885 - 1900	15	DECT
1900 - 1920	20	TD-CDMA
1920 - 1980	60	W-CDMA - Uplink
1980 - 2010	30	Satelitní složka
2010 - 2025	15	TD-CDMA
2110 - 2170	60	W-CDMA - Downlink
2170 - 2200	30	Satelitní složka

2.3.2 UMTS protokoly

Jak je zobrazeno na Obr. 2.7, protokoly používané v UMTS jsou rozděleny do dvou rozdílných vrstev, a to tzv. „Non Access Stratum“ (NAS) a „Access Stratum“ (AS). NAS protokoly zajišťují přenos informací mezi UE a CN pro sestavení komunikace mezi koncovými body, například spojení s jiným UE. Obsahem mohou být uživatelské nebo řídicí informace obsahující potřebnou signalizaci pro sestavení a ukončení služby, nebo vykonání jiných specifických funkcí mobilní sítě. V každém případě jsou tyto informace nezávislé na nižších vrstvách protokolové struktury a také na prvcích přístupové sítě, kterými tyto informace procházejí na cestě mezi UE a CN. Příklady NAS protokolů v kontrolní rovině jsou protokoly Connection Management (CM) a Session Management (SM), které jsou odpovědné za řízení spojení s UE, a také protokoly Mobility Management (MM) a GPRS Mobility Management (GMM), zodpovědné za funkce v síťové vrstvě. V uživatelské rovině, hlavní NAS protokol v síťové vrstvě pro paketově přepínané služby je protokol IP, narozdíl od okruhově spínaných služeb, kde informace přicházejí přímo od zdroje bez nutnosti síťového protokolu [12].

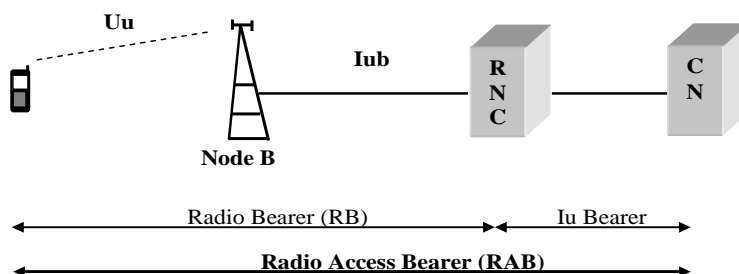
NAS protokoly využívají AS protokoly pro výměnu informací mezi UE a CN, viz Obr. 2.7. AS protokoly jsou narozdíl od NAS protokolů závislé na použité přístupové síti. Zatímco NAS protokoly jsou stejné jak pro UMTS nebo GSM/GPRS síť, protokoly AS musí být rozdílné v závislosti na použité technologii. V UMTS jsou tři typy AS protokolů, a to protokoly rádiového rozhraní, protokoly Iub rozhraní a protokoly Iu rozhraní. Protokoly rádiového rozhraní mají na starosti komunikaci mezi UE a UTRAN (protokoly vyšších vrstev mezi UE a RNC, protokoly nižších vrstev mezi UE a Node B). Protokoly Iub rozhraní řeší komunikaci na nižších vrstvách mezi Node B a RNC. Protokoly Iu rozhraní řeší komunikaci mezi RNC a CN.



Obr. 2.7: UMTS protokoly

Přenos informací mezi UE a CN pomocí protokolů NAS se nazývá RAB (Radio Access Bearer), který sestává ze dvou částí. První část je Radio Bearer (RB) mezi UE a RNC, druhá část je definována mezi RNC a CN (MSC/SGSN) a nazývá se Iu Bearer (viz Obr. 2.8).

Data přenášená mezi UE a RNC pomocí RB mohou být buď okruhově nebo paketově spínaná. Signalizační informace jsou přenášeny přes tzv. „Signalling Radio Bearer“ (SRB). Tyto informace jsou generovány NAS protokoly nebo interně vyššími vrstvami protokolů rádiového rozhraní, viz kapitola 2.3.2.1. Radio Access Bearer může tedy obsahovat kombinace RB a SRB a také kombinace různých datových toků [12].



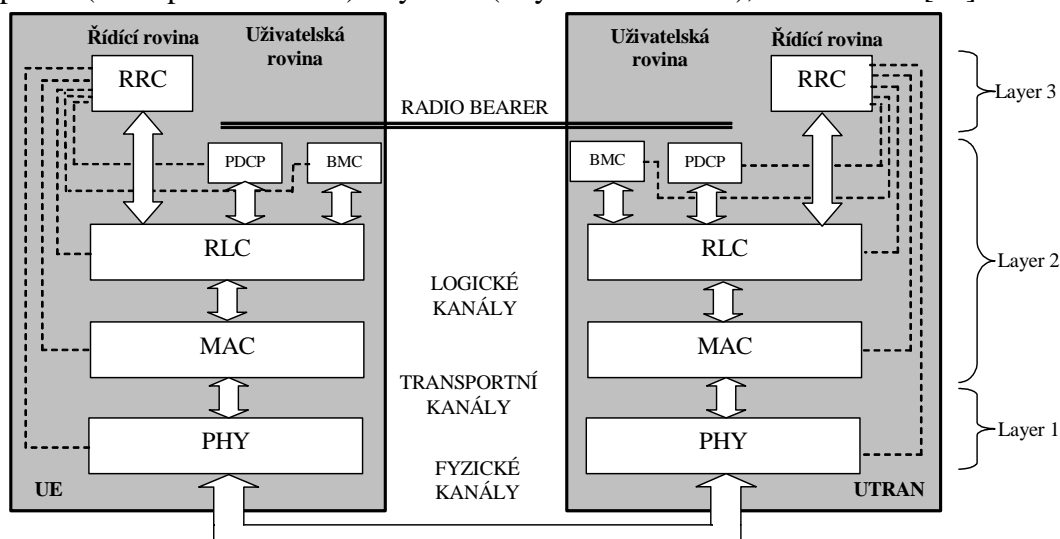
Obr. 2.8: Radio Access Bearer

2.3.2.1 Protokoly rádiového rozhraní

V této kapitole popíšu základní strukturu vrstevového modelu protokolů rádiového rozhraní. Tento model je založen na vrstevném modelu OSI (viz Obr. 2.9). Protokolová architektura je rozdělena na dvě části, část UE a část UTRAN (Node B a RNC). Dále je rozdělena do řídicí roviny, odpovědné za přenos signalizace a uživatelské roviny, která má na starosti přenos uživatelských dat. Model je rozdělen na tři vrstvy: *Fyzická vrstva* (Physical layer) (L1), *Linková vrstva* (Data link layer) (L2) a *Síťová vrstva* (Network layer) (L3). Linková vrstva je dále rozdělena na dvě podvrstvy, RLC (Radio Link Control) a MAC (Medium Access Control). Síťová vrstva je rozdělena na tři podvrstvy řídicí roviny RRC (Radio Resource Control) a dvě podvrstvy uživatelské roviny, a to na podvrstvu PDCP (Packet Data Convergence Protocol), zodpovědnou za kompresi záhlaví datových paketů, a podvrstvu BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol), která přizpůsobuje vysílání pro služby určené více nebo všem uživatelům. RRC může také řídit funkci nižších vrstev. Na straně UTRAN, protokol RLC a vyšší protokoly jsou situovány v RNC. Některé funkce MAC protokolu jsou situovány v Node B a některé v RNC.

Funkce je obdobná jako ve všech systémech založených na OSI modelu, tedy vrstva přijme data (SDU – Service Data Units) od nadřazené vrstvy, přidá definovaná záhlaví a řídicí data a doručí tyto data jako PDU (Protocol Data Units) nižší vrstvě. Na nejnižší vrstvě jsou data přeneseny vytvořeným kanálem na fyzické vrstvě (např. na určité frekvenci, v určitém timeslotu).

Linková vrstva poskytuje vyšším vrstvám službu přenosu informací mezi UE a UTRAN použitím rádiových spojení RB a SRB (viz kapitola 2.3.2). RB provádí přenos uživatelských dat, zatímco SRB přenáší řídicí informace, které mohou pocházet od RRC protokolu nebo z vyšších vrstev. Informace z RB a SRB jsou vloženy do různých typů kanálů, to záleží na pozici ve vrstevném modelu. Kanály rozdělujeme na logické (Logical Channels), transportní (Transport Channels) a fyzické (Physical Channels), viz Obr. 2.9 [12].



Obr. 2.9: Vrstvový model protokolů rádiového rozhraní

Architektura protokolů rádiového rozhraní a spojení mezi protokoly je naznačeno na obrázku 2.10.

Každý blok reprezentuje korespondující protokol.

Čerchované čáry reprezentují řídicí rozhraní, přes které RRC protokol řídí a konfiguruje nižší vrstvy. Rozhraní (SAP) mezi MAC a fyzickou vrstvou a mezi RLC a MAC podvrstvy poskytují transportní kanály, respektive logické kanály. Transportní kanály jsou specifikovány pro přenos dat mezi fyzickou vrstvou a Layer 2 entitami, zatímco logické kanály definují přenos specifického typu informací přes rádiové rozhraní.

2.3.2.1.1 Protokol MAC (*Medium Access Control*)

MAC protokol je odpovědný za mapování logických kanálů na příslušné transportní kanály. Tento protokol zabezpečuje efektivní použití transportních kanálů, podle momentálního zatížení vybere vhodný transportní formát (TF) a přiřadí Transport Format Set (TFS) pro každý aktivní transportní kanál.

Transportní formát je vybrán podle Transport Format Combination Set (TFCS), která je přiřazena RRC protokolem a vytvořena při kontrole přijetí v RNC, když je sestaven nebo změněn RAB.

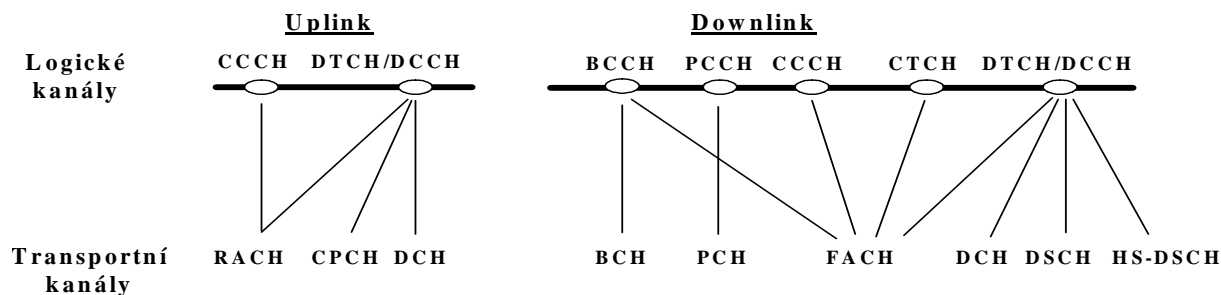
Funkce MAC vrstvy zahrnuje zajišťování priority datům spojení, zajišťování priority mezi UE (dynamické plánování a identifikace UE na transportních kanálech).

MAC vrstva zajišťuje multiplexování a demultiplexování RLC datových jednotek do a z transportních bloků (TB) doručených do a z fyzické vrstvy na fyzických kanálech a multiplexování a demultiplexování RLC datových jednotek do a ze sad transportních bloků (TBS) doručených do a z fyzické vrstvy na dedikovaných kanálech.

MAC vrstva je také zodpovědná za měření objemu dat na logických kanálech a oznamování tohoto RRC, na základě tohoto se rozhodne o provedení přepínání transportních kanálů; dynamické přepínání typů transportních kanálů (uskutečnění přepínání mezi společnými a dedikovanými transportními kanály), šifrování (pro transparentní RLC mód) a výběr třídy přístupové služby (ASC) pro přenos společných kanálů v uplinku.

Služby přenosu dat MAC vrstvy jsou poskytovány na logických kanálech. Typ přenesených informací definuje každý typ logického kanálu. Jsou rozděleny do 2 skupin: řídicí kanály (CCH) a přenosové (provozní) kanály (TCH). CCH jsou používány pro přenos informací řídicí roviny, TCH jsou používány pro přenos informací uživatelské roviny. Mapování mezi logickými a transportními kanály je znázorněno na obrázku

Obr. 2.10 [1] [19].



Obr. 2.10: Mapování mezi logickými a transportními kanály ve směru uplink i downlink

2.3.2.1.2 Protokol RLC (Radio Link Control)

RLC protokol poskytuje segmentaci/sestavování datových jednotek a služby opětovného přenosu pro uživatelská (Radio Bearer) a řídicí data (Signaling Radio Bearer). Každá RLC instance je konfigurována RRC k funkci v jednom ze tří módů, a to *transparentní mód* (TM) (není přidáno žádné záhlaví), *nepotvrzovaný mód* (UM) (není použit žádný protokol pro opětovný přenos a doručení dat není garantováno) a *potvrzovaný mód* (AM) (je pro odstranění chyb použit mechanismus Automatic Repeat reQuest (ARQ)). Pro všechny RLC módy je na fyzické vrstvě použita detekce chyb CRC (Cyclic Redundancy Check) a výsledek CRC je doručen RLC současně s aktuálními daty.

Jedna z nejdůležitějších funkcí RLC protokolu je segmentace a sestavování různě dlouhých datových jednotek do/z menších RLC datových jednotek; korekce chyb (zabezpečena opětovným přenosem dat, nesequenční doručení jednotek vyšších vrstev, řízení toku dat, detekce a oprava chyb, zahazování dat, šifrování a udržování definovaných kvalit služeb (QoS) na definované úrovni [1].

2.3.2.1.3 Protokol PDCP (Packet Data Convergence Protocol)

Tento protokol existuje pouze v uživatelské rovině a jen pro paketově spínané služby. Jeho hlavní funkce jsou komprese nadbytečných řídicích informací (např. TCP/IP a RTP/UDP/IP záhlaví) při vysílání a dekomprese při přijímání, přenos uživatelských dat jako příjem dat od NAS a jejich přeposílání příslušným RLC entitám, a multiplexování jednotlivých rádiových spojení (RB) RLC entitě [1].

2.3.2.1.4 Protokol BMC (Broadcast Multicast Control)

BMC protokol stejně jako PDCP existuje pouze v uživatelské rovině. Tento protokol poskytuje broadcastovou/multicastovou přenosovou službu na rádiovém rozhraní pro běžná uživatelská data v TM nebo UM módu. Využívá UM RLC a CTCH kanál namapovaný na kanál FACH. CTCH kanál musí být nakonfigurovaný a transportní kanál použitý sítí musí být indikován všem UE skrz RRC SIB (System Information Broadcast) na BCH kanále.

2.3.2.1.5 Protokol RRC (*Radio Resource Control*)

Protokol RRC řídí konfiguraci všech nižších protokolů (PDCP, BMC, RLC, MAC).

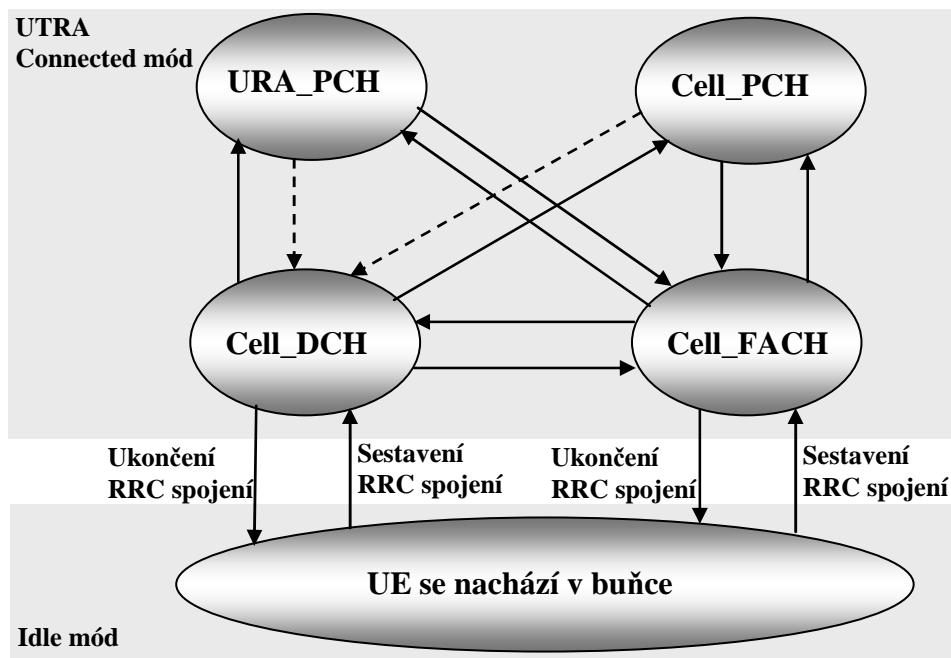
Signalizace RRC má na starosti signalizaci (řídící rovina) mezi UE a UTRAN. Její funkce zahrnují:

- Vysílání informací poskytnutých AS a NAS (core network) všem UE.
- Sestavení, znovusestavení, udržování a ukončení RRC spojení mezi UE a UTRAN. Sestavení RRC spojení zahrnuje případnou reSelekci buňky, řízení přístupu a sestavení L2 signalizačního spojení.
- Na žádost vyšších vrstev může sestavit, rekonfigurovat a ukončit rádiové spojení (RB) v uživatelské rovině.
- Přiřazení, rekonfiguraci a odebrání rádiových zdrojů pro RRC spojení. Má na starosti přiřazení rádiových zdrojů (kódy, CPCH kanály) potřebných pro RRC spojení v řídící i uživatelské rovině.
- Provádí vyhodnocení, rozhodnutí a vykonání operací mobility vztažených k RRC spojení během sestaveného RRC spojení, např. handover, příprava inter-system handoveru, reSelekci buněk a aktualizací procedury buňky, založené na měření mobilní stanice.
- Může vysílat pagingové informace ze sítě k vybranému UE na základě žádosti vyšších vrstev na straně sítě.
- Provádí směrování datových jednotek vyšších vrstev odpovídající vyšší entitě na straně UE, na straně UTRAN odpovídající RANAP (Radio Access Network Application Part).
- Zajišťuje požadovanou QoS pro rádiové spojení (RB), např. alokací dostatečných rádiových zdrojů.
- RRC protokol řídí měření prováděná UE ve smyslu co měřit, kdy měřit a jak podat hlášení. Provádí také oznamování o UE měření do sítě.
- Řízení výkonu Outer Loop Power Control. RRC řídí nastavení cílové hodnoty pro Closed Loop Power Control. Viz
- Řízení šifrování mezi UE a UTRAN
- Pomalou DCA (Dynamic Channel Allocation) pro dynamickou alokaci rádiových zdrojů.
- Rozhodnutí o rádiových zdrojích na DCH v uplinku.
- Počáteční selekci buňky a její reSelekci na základě měření.
- Ochranu integrity RRC zpráv, přidává kód MAC-1 do zpráv s citlivým obsahem
- Počáteční konfiguraci CBS (Cell Broadcast Service), konfiguraci BMC podvrstvy
- Řízení časování

Protokol RRC zajišťuje vyšším vrstvám tyto služby:

- Hlavní řízení
- Oznamování
- Řízení přiřazení

Po zapnutí UE zůstane v **Idle** módu dokud není do sítě odeslán požadavek na sestavení RRC spojení. V Idle módu je spojení s UE na všech AS vrstvách uzavřeno. V tomto módu je UE identifikováno NAS entitami jako IMSI (International Mobile Subscriber Identity), TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) a Packet-TMSI. RNC nemá žádnou informaci o konkrétním UE a může adresovat pouze např. všechny UE v buňce. Přechody mezi Idle módem a Connected módem jsou znázorněny v Obr. 2.11.



Obr. 2.11: Módy RRC

UTRA Connected mód je aktivní když je navázáno RRC spojení. RRC spojení je definováno jako obousměrné spojení typu bod-bod mezi odpovídajícími entitami v UE a UTRAN. UE má buď žádné nebo jedno RRC spojení. Procedura sestavení RRC spojení může být zahájena pouze UE, když UE pošle zprávu s žádostí o sestavení tohoto spojení do UTRAN. Tato událost je spuštěna buď pagingovou žádostí ze sítě nebo žádostí vyšších vrstev v UE. Když je RRC spojení sestaveno, UE je přiřazena RNTI (Radio Network Temporary Identity) (konkrétní hodnoty viz Tab. 3.21) k identifikaci na kanálech CTCH. Když síť ukončí RRC spojení, signalizační spojení a všechny rádiová spojení (RB) mezi UE a UTRAN jsou ukončena [1] [6] Jak naznačuje Obr. 2.11, RRC stavy jsou:

- **Cell_DCH.** V tomto stavu je UE alokován kanál DPCH, event. i kanál PDSCH. Do tohoto stavu se může dostat z Idle módu nebo sestavením kanálu DTCH ze stavu Cell_FACH. V tomto stavu UE provádí měření podle zprávy RRC MEASUREMENT CONTROL. Přechod ze stavu Cell_DCH do stavu Cell_FACH může způsobit např. vypršení časovače neaktivity.
- **Cell_FACH.** V tomto stavu není UE alokován kanál DPCH, namísto toho jsou pro přenos signalizace a malého množství uživatelských dat použity kanály RACH a FACH. UE naslouchá na kanále BCH a po vypršení časovače na FACH se dostane do podstavu Cell_PCH.
- **Cell_PCH.** V tomto stavu je lokace UE známa SRNC jen na úrovni buňky a UE může být dosaženo pouze pomocí pagingové zprávy. Tento stav dovoluje nízkou spotřebu energie. UE může použít nesouvislý příjem (DRX), přečíst BCH k získání platných systémových informací a přejít do stavu Cell_FACH při obdržení pagingové zprávy ze sítě nebo při uplinkovém přístupu (např. zahájeným UE pro reSelekci buňky).
- **URA_PCH.** Tento stav je podobný stavu Cell_PCH, až na to, že UE vykoná proceduru updatu buňky pouze když se změní URA (UTRAN Registration Area). Jedna buňka může patřit jedné nebo více URA aby se předešlo ping-pong efektu. Když množství updatů buňky překročí určitou mez, UE může přejít do stavu URA_PCH. Kanál DCCH v tomto stavu nemůže být použit a jakákoliv aktivita může být vyvolána sítí pouze pomocí pagingové zprávy na kanále PCCH nebo při uplinkovém přístupu UE použitím kanálu RACH.

2.3.3 Kanály v UMTS

2.3.3.1 Logické kanály

Logické kanály umožňují komunikaci mezi vrstvami RLC a MAC (viz Obr. 2.9) a jsou charakterizovány typem informací, které jsou přenášeny těmito vrstvami. Jsou tedy logické kanály pro uživatelská data (Traffic Logical Channels) (viz Tab. 2.3) a také logické kanály pro přenos řídicích informací (Control Logical Channels) (viz Tab. 2.2), které mohou být buď vyhrazené určitým uživatelům nebo společné nějaké skupině uživatelů či všem uživatelům [12].

Tab. 2.2: Řídicí logické kanály

Řídicí logické kanály	
Kanál	Popis
BCCH (Broadcast Control Channel)	Přenáší řídicí informace určené všem uživatelům dané buňky, definován ve směru downlink.
PCCH (Paging Control Channel)	Slouží k oznámení mobilním stanicím o příchozím hovoru nebo zprávě, definován ve směru downlink.
DCCH (Dedicated Control Channel)	Přenáší signalizační informace mezi daným UE a RNC, pokud mají navázáno RRC spojení.
CCCH (Common Control Channel)	Přenáší signalizační informace mezi UE a RNC, pokud nemají navázáno RRC spojení.

Tab. 2.3: Logické kanály pro uživatelská data

Logické kanály pro uživatelská data	
Kanál	Popis
DTCH (Dedicated Traffic Channel)	Přenáší informace dané služby jednoho určitého uživatele ve směru uplink i downlink.
CTCH (Common Traffic Channel)	Přenáší uživatelská data skupině uživatelů v dané buňce ve směru downlink.

2.3.3.2 Transportní kanály

Do transportních kanálů jsou přiřazeny logické kanály ve vrstvě MAC (viz Obr. 2.9). Transportní kanály jsou definovány mezi vrstvami MAC a PHY a určují, jakým způsobem budou informace z logických kanálů přizpůsobeny pro přístup na rádiové přenosové médium. Transportní kanály určené pro jednoho uživatele se liší od těch, které jsou určeny všem uživatelům (viz Tab. 2.4) [12].

Tab. 2.4: Transportní kanály

Transportní kanály	
Kanál	Popis
DCH (Dedicated Channel)	Přenáší informace vyšších vrstev (uživatelské i řídicí informace) v uplinku i downlinku.
BCH (Broadcast Channel)	Určen všem uživatelům v dané buňce, přenáší logický kanál BCCH, existuje v downlinku i uplinku.
PCH (Paging Channel)	Určen určitému uživateli v dané buňce, přenáší logický kanál PCCH ve směru downlink.
RACH (Random Access Channel)	Umožňuje náhodný přístup v uplinku, možnost kolize, použití pro služby s malými nároky na kvalitu.
FACH (Forward Access Channel)	Přenáší řídicí logické kanály určené jednomu UE v downlinku.
CPCH (Common Packet Channel)	Definován jako rozšíření kanálu RACH pro přenos větších paketů v uplinku.
DSCH (Downlink Shared Channel)	Uživatelé, kteří chtějí přenášet data na tomto kanále v downlinku, musí mít navázáno spojení na obousměrném kanálu DCH. Pro paketové služby.
HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel)	Rozšíření pro kanál DSCH pro použití HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), kde může být dosaženo přenosové rychlosti několika Mb/s.

2.3.3.3 Fyzické kanály

Fyzické kanály jsou definovány na fyzické vrstvě (viz Obr. 2.9) a určují vlastnosti signálů, které jsou přeneseny v uplinku nebo downlinku a jsou kódově, časově a frekvenčně multiplexovány se signály přicházejícími od jiných uživatelů a základnových stanic. Obsahují také signály, které slouží jako podpora pro přenos na fyzických kanálech (např. podpora procedur náhodného přístupu), ale neobsahují žádné informace vyšších vrstev (viz). O rádiovém spektru pojednává kapitola 2.3.1 [12].

Tab. 2.5: Fyzické kanály

Fyzické kanály	
Kanál	Popis
DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)	Přenáší informace transportního kanálu DCH v uplinku i downlinku a uskutečňuje řízení výkonu.
DPCCH (Dedicated Physical Control Channel)	Přenáší signalizační informace fyzické vrstvy (synchronizace, řízení výkonu). V uplinku je multiplexován kódově s kanálem DPDCH, v downlinku časově.
HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel)	Přenáší v uplinku řídicí informace pro transportní kanál HS-DSCH.
P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel)	Určen k přenosu transportního kanálu BCH v downlinku, má pevnou přenosovou rychlost 30kb/s.
S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel)	Určen k přenosu transportních kanálů PCH a FACH v downlinku, podporuje různé přenosové rychlosti.
SCH (Synchronisation Channel)	Tento kanál je určen pro synchronizaci, je to první kanál, který musí UE detekovat, než začne měřit úroveň CPICH.
CPICH (Common Pilot Channel)	V tomto kanálu se vysílá v downlinku předdefinovaná sekvence bitů přenosovou rychlostí 30kb/s. Výkon tohoto kanálu měří UE.
PRACH (Physical Random Access Channel)	Tento kanál přenáší v uplinku transportní kanál RACH, přenáší se kódové sekvence a zprávy, ve kterých přenáší UE svoje informace.
PCPCH (Physical Random Access Channel)	Přenáší transportní kanál CPCH v uplinku, oproti kanálu PRACH nabízí vyšší přenosové rychlosti a kvalitu služeb.
PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)	Přenáší transportní kanál DSCH různými přenosovými rychlostmi.
HS-PDSCH (High Speed Physical Downlink Shared Channel)	Přenáší transportní kanál HS-DSCH v downlinku. Používá buď modulaci QPSK nebo 16-QAM.
HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel)	Přenáší data konstantní přenosovou rychlostí 60kb/s v downlinku, je používán k přenášení signalizace pro kanál HS-DSCH, má stejnou rámcovou strukturu jako kanál HS-PDSCH

2.4 UMTS PROCEDURY

Chování mobilního terminálu v síti není jednoduše popsitelné, provádí se mnoho operací spojených s různými procedurami při jeho běžném používání uživatelem. V této kapitole popíše základní procedury mobilního terminálu a sítě pro zajištění správného chování a funkce mobilního terminálu v síti UMTS.

Jedná se o tyto procedury:

- **Synchronizace UE se sítí**, kdy je nutné provést synchronizaci UE s Node B (viz kap. 2.4.1).
- **Registrace UE a resekce buňky** (viz kapitola 2.4.2)
- **Řízení výkonu** pro zabezpečení co nejmenší spotřeby mobilního terminálu a snížení možnosti rušení (viz kapitola 2.4.5)
- **RRC signalizace**, například navázání hlasového hovoru, datového spojení (viz kapitola 2.4.6)
- **Procedury pro zajištění mobility** pro zajištění udržení spojení při změně stavu sítě (viz kapitola 2.4.7)
- **Měření rádiového rozhraní** za účelem efektivního využití rádiových zdrojů a zajištění mobility (viz kapitola 2.4.8)
- **Další procedury** pro zajištění distribuce systémových informací a dosažitelnosti mobilního terminálu (viz kapitoly 2.4.3 a 2.4.4)

2.4.1 Synchronizace UE se sítí

2.4.1.1 Výběr PLMN

Když je UE zapnuto, je vybrána síť (PLMN) a UE hledá vhodnou buňku této PLMN. Uživatelský terminál UE by měl udržovat seznam povolených typů PLMN sítí. Během výběru PLMN, na základě seznamu povolených PLMN typů a seznamu povolených PLMN identit je zvolena určitá síť. Tato síť může být buď typu GSM MAP, nebo typu ANSI-41. Pokud je síť typu GSM, je tato PLMN identifikována parametrem PLMN Identity a pokud je typu ANSI-41, je identifikována parametrem SID. UE v buňce může získat tyto parametry v systémových informacích na všesměrovém kanále. Výsledkem výběru PLMN sítě je identifikátor vybrané sítě.

NAS poskytuje seznam PLMN sítí, které mohou být použity pro selekci a resekci buněk. UE skenuje všechny kmitočtové kanály v UTRA pásmech podle jeho schopností pro nalezení dostupných PLMN. Na každé nosné frekvenci UE hledá nejsilnější buňku a čte systémové informace pro zjištění, k jaké PLMN daná buňka patří. Každá takto nalezená PLMN je ohlášena NAS jako tzv. *high quality PLMN*, pokud splňuje následující kritéria:

1. Pro FDD buňku, hodnota CPICH RSCP je větší nebo rovna -95 dBm.
2. Pro TDD buňku, hodnota P-CCPCH RSCP je větší nebo rovna -84 dBm.

Nalezené PLMN, které nesplňují toto kritérium, ale pro které bylo UE schopno zjistit PLMN identitu jsou ohlášeny NAS společně s hodnotou CPICH RSCP nebo P-CCPCH RSCP. Hledání dalších PLMN na jiných nosných může být ukončeno na žádost NAS entity. Uživatelský terminál může optimalizovat toto hledání využitím uložených informací o nosných frekvencích a také informací o buňce, například skramblovacími kódy z dříve přijatých informací o měření. Pokud UE vybralo PLMN, může být vykonána procedura k výběru buňky dané PLMN

2.4.1.2 Výběr Node B

UE hledá vhodnou buňku vybrané PLMN a vybírá buňku k poskytování dostupných služeb a naladí se na její řídicí kanál. Tato procedura je známá jako „kempování v buňce“. UE poté v případě potřeby zaregistruje svoji přítomnost v buňce NAS registrační procedurou v registrační oblasti dané buňky a výsledkem oblastní registrace se stane vybraná PLMN registrovanou PLMN.

Pokud UE ztratí pokrytí sítě PLMN, ve které je registrováno, je nová PLMN vybrána automaticky, nebo je uživateli nabídnuta volba nové PLMN manuálně.

Důvody kempování v buňce v idle módu jsou následující

- Dovoluje UE přijímat systémové informace z PLMN
- Když je UE registrováno a je potřeba sestavit RRC spojení, může tak učinit přístupem na řídicí kanál buňky
- Pokud PLMN přijme hovor pro registrované UE, ve většině případů zná registrační oblast buňky, ve které se UE nachází a poté může poslat pagingovou zprávu do UE na řídicím kanálu všech buněk v registrační oblasti. UE tuto zprávu přijme, protože naslouchá na řídicím kanálu buňky v této registrační oblasti.
- Umožňuje UE přijímat broadcastové služby buňky.

Pokud UE není schopno najít vhodnou buňku, nebo není vložena USIM, nebo selže registrace do sítě, tak se UE pokusí navázat na buňku bez ohledu ke které síti PLMN patří a poté se může v rámci tzv. limitované služby pokusit o nouzová volání.

2.4.1.2.1 Synchronizace s Node B

Po zapnutí UE v UMTS buňce začne provádět následující kroky (tzv. Initial UE Radio Access).

Nejdříve je ovšem potřeba na straně UE zvolit vhodný vysílací výkon, aby nerušilo ostatní uživatele v síti. Node B vysílá na kanále BCCH tzv. výkonový krok ΔP , který UE přečte a UE vysílá po RACH/CPCH kanále RACH zprávu (viz Obr. 2.13) s parametry (viz Tab. 3.1) a čeká na potvrzení ACK. Pokud toto potvrzení nedostane než uplyne doba T_{CPCH} , sníží UE svůj vysílací výkon se kterým odeslal RACH zprávu P_{tr} (1).

$$Ptr(i+1) = Ptr(i) + \Delta P \quad (1)$$

Pokud je potvrzení přijato, pokračuje UE v následujících krocích:

Krok 1: Synchronizace slotu

Během této procedury UE hledá primární synchronizační kód kanálu SCH (Synchronization channel), který není skramblován, k synchronizaci slotu buňky. Primární synchronizační kód bývá stejný pro všechny buňky. Po jeho přečtení je UE časově synchronizováno s Node B.

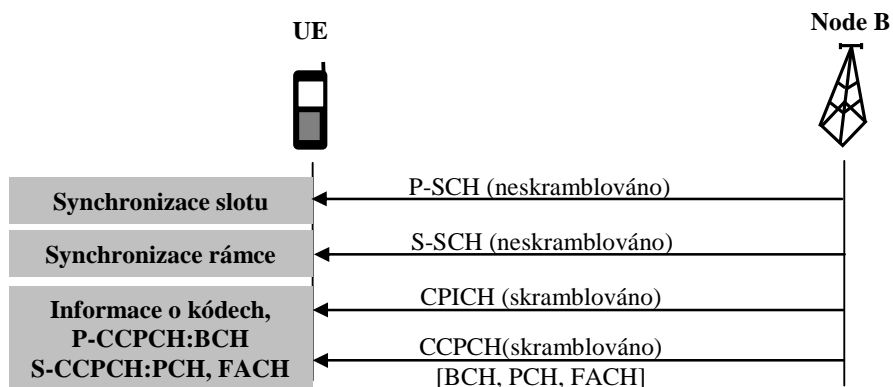
Krok 2: Rámcová synchronizace a identifikace kódové skupiny

Na základě špiček detekovaných pro primární synchronizační kód UE hledá největší špičku sekundárního SCH kódu (který také není skramblován) pro nalezení rámcové synchronizace a identifikaci kódové skupiny buňky. To je provedeno korelací přijatého signálu se všemi možnými sekundárními synchronizačními kódovými sekvencemi a identifikací maximální hodnoty shody.

Krok 3: Identifikace skramblovacího kódu

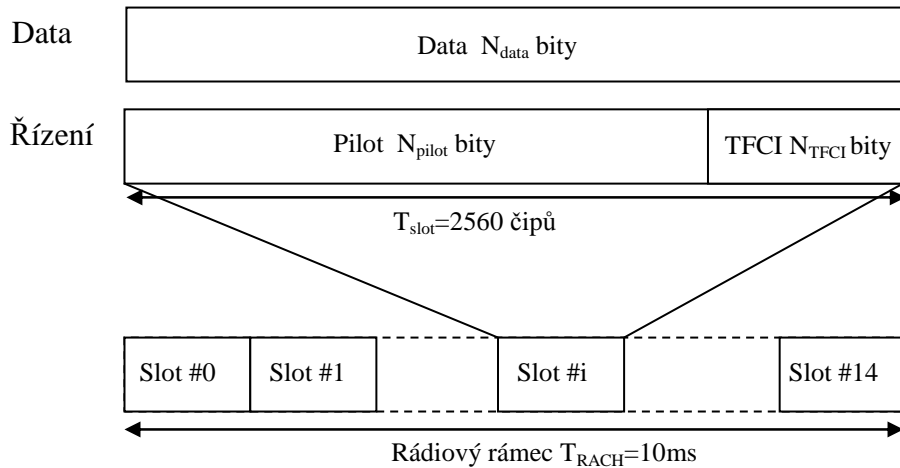
Během posledního kroku zjistí UE přesný primární skramblovací kód použitý nalezenou buňkou. Primární skramblovací kód je typicky identifikován pomocí symbolové korelace kanálu CPICH se všemi kódy kromě kódové skupiny identifikované ve druhém kroku. Poté co byl primární skramblovací kód identifikován, může být detekován kanál P-CCPCH který používá stejný skramblovací kód jako CPICH a UE může získávat informace na kanálu BCH a tím být schopno přijímat pagingové zprávy a umožní kanálu S-CCPCH přenášet PCH a FACH. Systémové informace přenášené BCH budou indikovat sekundární skramblovací kód aktuální Node B pro pozdější přenos dat na DCH. Pokud UE dostane informaci, které skramblovací kódy má hledat, kroky 2 a 3 mohou být zjednodušeny.

Cílem selekce buňky je najít vhodnou buňku co nejrychleji. Ke zrychlení tohoto procesu po zapnutí UE nebo po návratu z oblasti mimo pokrytí začne UE hledat buňku pomocí informací uložených z předešlého kontaktu se sítí.

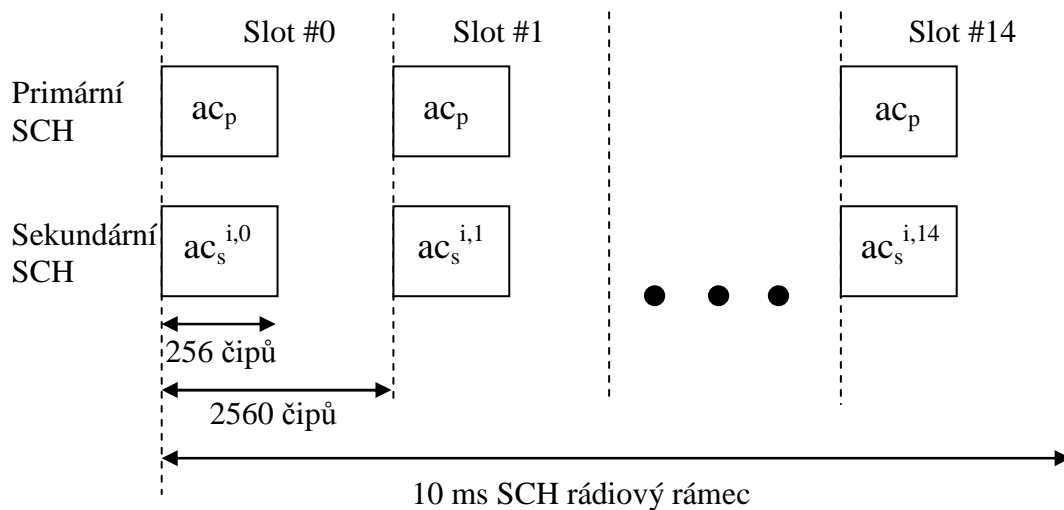


Obr. 2.12: Průběh synchronizace UE s Node B

RACH zpráva (viz Obr. 2.13) je rozdělena do 15-ti slotů, každý délky 2560 čipů. Každý slot sestává ze dvou částí, datové a řídicí. K datové části je namapován transportní kanál RACH a řídicí část nese řídicí informace. Tyto části jsou vysílány paralelně. Zpráva (10ms) sestává z jedné části zprávy rádiového rámce. Datová část obsahuje $10 \cdot 2^k$ bitů, kde $k=0,1,2,3$. To odpovídá rozprostírajcímu faktoru [6].



Obr. 2.13: Struktura rádiového rámce RACH zprávy



Obr. 2.14: Struktura synchronizačního kanálu

Kanál **SCH** (Synchronisation Channel) je downlinkový kanál použitý pro hledání buněk. Sestává ze dvou podkanálů, primární PSCH (Primary Synchronisation Channel) a sekundární SSCH (Secondary Synchronisation Channel). Rádiové rámce (10ms) SSCH a PSCH jsou rozděleny do 15 slotů, každý délky 2560 čipů, viz Obr. 2.14.

Kanál **PSCH** (Primary SCH) sestává z modulovaných kódů délky 256 čipů, primární synchronizační kód (PSC) je vysílán jedenkrát během každého slotu. PSC je stejný pro všechny buňky v systému.

Kanál **SSCH** (Secondary SCH) sestává z opakovaně vysílané sekvence 15 modulovaných kódů délky 256 čipů = SSC (Secondary Synchronisation Codes) vysílaných paralelně se PSCH. SSC je v OBR označen $c_s^{i,k}$, kde $i = 0, 1, \dots, 63$ je číslo skupiny skramblovacích kódů a $k = 0, 1, \dots, 14$ je číslo slotu. Každý SSC je vybrán ze sady 16ti rozdílných kódů délky 256. Tato sekvence na SSCH označuje do které skupiny kódů patří downlikový skramblovací kód.

Tab. 2.6: Přihlašování UE do sítě

Kanál	Typ synchronizace	Poznámka
PSCH	Čipová, Slotová	256 čipů Stejná ve všech buňkách
SSCH	Rámcová, Kódové skupiny	15 kódových sekvencí sekundárních synchronizačních kódů.. 64 SSCH sekvencí korespondujících s 64 skupinami skramblovacích kódů. 256 čipů, různých pro různé buňky a slotové intervaly.
CPICH	Skramblovací kód (1 z 8)	K nalezení primárního skramblovacího kódu z CPICH
PCCPCH	Super frame synchronizace, BCCH info	Pevný 30 kbps kanál 27 kbps kanál rozprostíracího faktoru 256
SCCPCH		Nese FACH a PCH kanály Proměnná přenosová rychlost

2.4.2 Chování UE v Idle módu

Po synchronizaci UE se sítí se UE zaregistruje v síti pomocí NAS registrační procedury v registrační oblasti, ve které se daná buňka nachází (podrobné informace viz specifikace 3GPP TS 24.008). Poté UE hledá co nejlepší buňku podle kritérií pro selekci buňky (viz 2.4.8). Pokud ji najde, tak je tato buňka vybrána jako aktivní [15].

Idle mód má definovány 3 typy služeb:

- **Normální služba** – UE, které se nachází v buňce může používat normálních služeb sítě.
- **Limitovaná služba** – v případě, že UE nenašlo žádnou vhodnou buňku své sítě, pak se může nacházet v akceptovatelné buňce, ve které může využívat pouze omezené služby (např. tísňová volání). UE potom nadále hledá vhodnou buňku

své síti, přičemž zkouší hledat na všech pásmech a na všech podporovaných standardech sítí.

- **Operátorská služba** – Pokud UE disponuje SIM s nestandardní přístupovou třídou (AC), může použít i buňky označené jako „rezervováno pro použití operátora“ v systémových informacích.

2.4.3 Vysílání systémových informací

Vysílání systémových informací pochází z CN, RNC a z Node B. Zprávy systémových informací jsou vysílány na logickém kanálu BCCH, který může být mapován na transportní kanály BCH nebo FACH. Zprávy systémových informací nesou tzv. System Information Blocks (SIB). Dynamické (často se měnící) parametry jsou seskupovány do rozdílných SIB než statické parametry. Zpráva systémových informací může nést více SIB nebo jen část jednoho SIB v závislosti na velikosti vysílaného SIB. Každá zpráva systémových informací vždycky odpovídá velikosti transportního bloku BCH nebo FACH.

SIB jsou organizovány do stromu, Master Information Block (MIB) poskytuje reference a plánování většímu počtu SIB v buňce. **MIB** je vysílán na kanálu BCH a obsahuje parametry *Supported PLMN Types* a buď *PLMN Identity* nebo *ANSI-41 Core Network Information*. SIB obsahují další aktuální systémové informace. Změna SIB je oznámena UE v MIB nebo v tzv. plánovacím bloku. UTRAN může také informovat o změně v SIB pomocí pagingových zpráv poslaných na kanále BCH nebo zprávou *System Information Change Indication* na transportním FACH kanále. Pomocí těchto dvou zpráv je možné oznámit změnu systémových informací všem UE ve stavu Cell_FACH, Cell_PCH a URA_PCH (viz kapitola 2.3.2.1.5). Počet informačních bloků je 1 MIB, 2 plánovací bloky a 17 SIB. Pouze SIB č.10, který obsahuje informace potřebné pouze ve stavu Cell_DCH je posílán skrze FACH kanál, ostatní informační bloky jsou posílány skrze BCH [1][17].

2.4.4 Paging

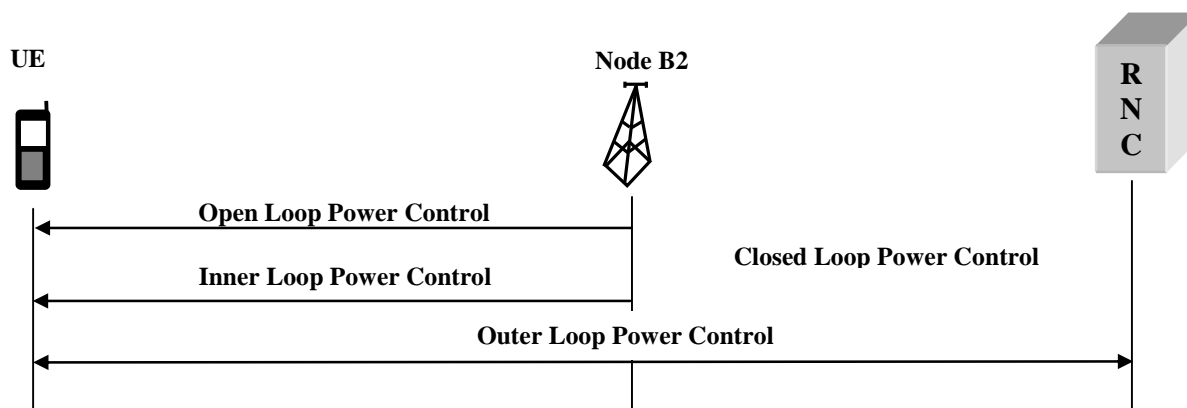
RRC vrstva může vysílat pagingové informace na PCCH kanálu ze sítě vybraným UE v buňce. Paging může být použit ve třech případech:

- Při hovoru inicializovaném sítí nebo při sestavení relace. V tomto případě žádost o začátek pagingu přichází z CN.
- Při změně stavu UE z Cell_PCH nebo URA_PCH na stav Cell_FACH. To může být inicializováno například aktivitou paketových dat v downlinku.
- Při indikaci změny systémových informací. V tomto případě RNC pošle pagingovou zprávu s informací popisující změnu v MIB. Tento typ pagingu je směřován všem UE v buňce [17].

2.4.5 Řízení výkonu

Řízení vysílacího výkonu (Power Control) je nezbytností ve všech mobilních systémech z důvodu nižší spotřeby energie mobilních stanic a bezpečnosti a také pro předcházení vzájemného rušení jednotlivých mobilních účastníků [1] [5].

Rozlišujeme dva základní druhy řízení výkonu, a to na straně koncových zařízení (při uplinku) a na straně základnové stanice (při downlinku). Dvě základní metody řízení výkonu v UMTS jsou (viz Obr. 2.15):



Obr. 2.15: Techniky řízení vysílacího výkonu v UMTS

Zpětná otevřená smyčka (Open Loop Power Control) je typ jednosměrného řízení výkonu, který se používá dříve než je UE připojeno k RNC a popisuje schopnost vysílače v UE k nastavení výstupního výkonu na specifickou hodnotu pro počáteční výkony v uplinku a downlinku. Tolerance řízení výkonu je ± 9 nebo ± 12 dB. Během příjmu CPICH a BCCH parametrů na kanále BCH může UE určit vysílací výkon. Čím silnější je přijímaný (RX) signál, tím bude slabší vysílací (TX) signál.

Zpětná uzavřená smyčka (Closed Loop Power Control) se používá když UE má RNC spojení. Zahrnuje **Inner** a **Outer Loop Power Control**. Po zjištění, jaké služby UE chce, SRNC definuje cílovou QoS pro RB (SIR). Node B uloží cílový SIR a porovná ho s aktuálními měřeními UE. Výsledek porovnání je předán SRNC, který pošle novou cílovou hodnotu. Komunikace mezi Node B a SRNC je nazývána *Outer Loop Power Control* a je prováděna 10-100krát za vteřinu. Tato metoda je nazývána Slow Power Control (pomalé řízení výkonu).

Na druhou stranu, Node B musí řídit vysílací výkon UE k dosažení daného SIR. Node B posílá TPC příkazy UE pro zvýšení nebo snížení jeho vysílacího výkonu. UE potom musí okamžitě vysílací výkon změnit. Tato metoda se nazývá Fast Power Control (rychlé řízení výkonu) a je prováděna až 1500krát za vteřinu [1].

Inner Loop Power Control pracuje v uplinku a popisuje schopnost vysílače UE k nastavení výstupního výkonu podle jednoho nebo více downlinkového TPC (Transmit Power Control) příkazu. Přijatá hodnota SIR pro uplink je zachována jako cílová hodnota SIR (SIR_{target}). Vysílač UE může měnit výstupní výkon (skoky 1, 2 a 3 dB) ve slotu po získání příkazu TPC_cmd (konkrétní parametry viz Tab. 3.5). Buňka předběžně vypočítá SIR přijatého DPCH, vygeneruje TPC příkazy a vyšle je jednou během slotu. UE přijaté příkazy rozřadí jednotlivým slotům. Příkazy TPC jsou určovány podle:

$$\begin{array}{ll} SIR_{est} > SIR_{target} & \text{TPC příkaz je "0"} \\ SIR_{est} < SIR_{target} & \text{TPC příkaz je "1"} \end{array}$$

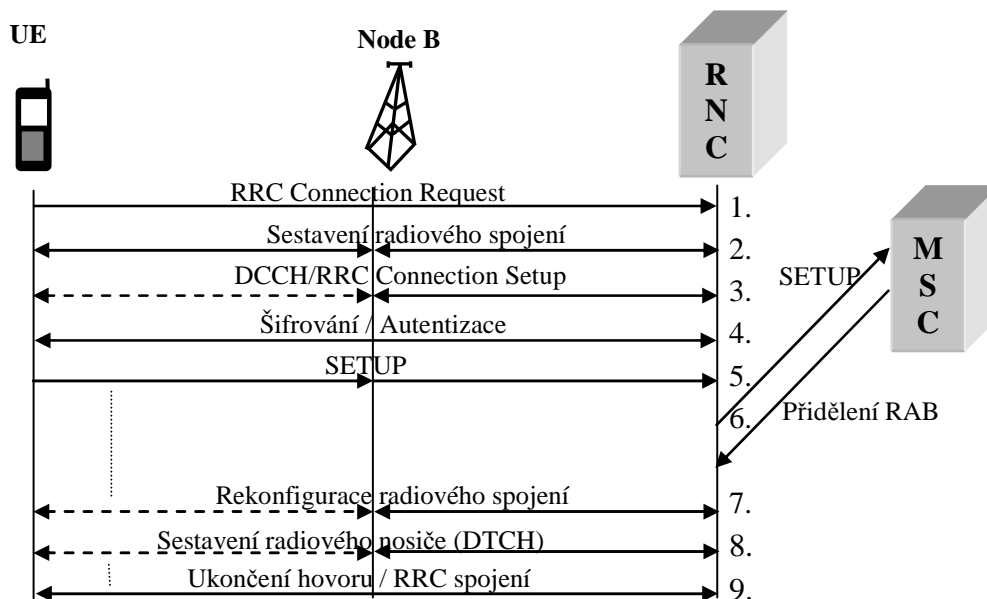
Outer Loop Power Control udržuje kvalitu komunikace pro požadavky přenášených služeb použitím tak nízkého výkonu jak je to jen možné. *Uplink Outer Loop Power Control* se stará o nastavení cílové hodnoty SIR_{target} v Node B pro individuální Inner Loop Power Control v uplinku. Hodnota SIR_{target} je aktualizována pro každé UE v buňce podle potřebné kvality v uplinku (BLER, BER) pro každé RRC spojení. *Downlink Outer Loop Power Control* popisuje schopnost přijímače UE přizpůsobit se požadované kvalitě spojení (BLER) definované sítí (RNC) v downlinku (konkrétní parametry viz Tab. 3.3) .

2.4.6 RRC signalizace

Navázání RRC spojení a sestavení signalizačního rádiového nosiče (SRB) mez UE a UTRAN je vždy iniciováno žádostí vyšších vrstev (NAS) na straně UE. Pro vyvolání sestavení RRC spojení ze sítě je použito pagingových zpráv RRC Paging Message. Sestavení RRC spojení ze strany UE může být provedeno pouze pokud je UE ve stavu Idle, nikdy totiž nemůže existovat více než jedno RRC spojení mezi UE a UTRAN, pokud existuje více signalizačních spojení, vždy sdílí jedno RRC spojení. Udržování RRC spojení je zajištěno funkcí Connection Re-establishment, tedy znovunavázání spojení po selhání rádiového spojení. Zpráva RRC Connection Setup může obsahovat přiřazení vyhrazeného fyzického kanálu (přesun se do stavu Cell_DCH) nebo může přikázat UE použití společného kanálu (přesun se do stavu Cell_FACH) [1]. Průběh RRC zpráv je možné monitorovat (viz Tab. 3.19).

2.4.6.1 Hovor iniciovaný mobilní stanicí

Tato kapitola popisuje výměnu signalizačních informací mezi UE/RNC/MSC při sestavení spojení pro hovor iniciovaný mobilní stanicí (účastníkem).



Obr. 2.16: Signalizace při hovoru vyvolaném mobilní stanicí

- **Krok 1:** Zpráva Connection Request je poslána z UE do RNC na kanále CCCH (Common Control Channel) když se uživatel rozhodne uskutečnit hovor. Zpráva obsahuje informace o mobilní stanici a důvod sestavení spojení.
- **Krok 2:** Musí být poskytnuty radiové zdroje pro sestavení dedikovaného transportního kanálu (DCH) nesoucího logické řídicí kanály (DCCH). Kanály DCCH jsou použity pro přenos RRC a NAS zpráv.
- **Krok 3:** Dokud nejsou k dispozici DCH a DCCH, signalizace pro sestavení RRC spojení je přenášena pomocí CTrCH RACH (uplink) a FACH (downlink). Sestavení RRC spojení je hotové po sestavení DCH.
- **Krok 4:** Nepovinná procedura šifrování/autentikace je použita k dvojitému ověření identity a k použití šifrování mezi RNC a UE.
- **Krok 5:** Sestavení hlasového hovoru začíná zprávou SETUP na MM/SM/CC vrstvě. Tato zpráva obsahuje volané číslo a je přeposlána RNC do CS domény.
- **Krok 6:** CS doména definuje QoS parametry pro hlasový hovor. Tyto parametry jsou klíčové pro RAB. RAB služba poskytuje „kanál“ pro uživatelská data (hlasové pakety) mezi MT (Mobile Termination) v UE a MSC v CS doméně.
- **Krok 7:** Rekonfigurace rádiového spojení poskytuje radiové zdroje pro sestavení radiového nosiče (RB) v dalším kroku.
- **Krok 8:** Z hodnot parametrů vyjednaných při proceduře přidělení RAB je sestaveno nové radiové spojení pro přenos logických dedikovaných kanálů (DTCH). Pokud je použit AMR kodek pro kódování hlasové informace, jsou sestaveny 3 DTCH kanály, jeden pro každou třídu AMR bitů.
- **Krok 9:** Ukončení hlasového hovoru je obdobné jako ukončení RRC spojení, pokud nejsou aktivní žádné další služby. Nakonec RNC uvolní radiové zdroje, které byly blokovány pro kanály DCCH a DTCH.

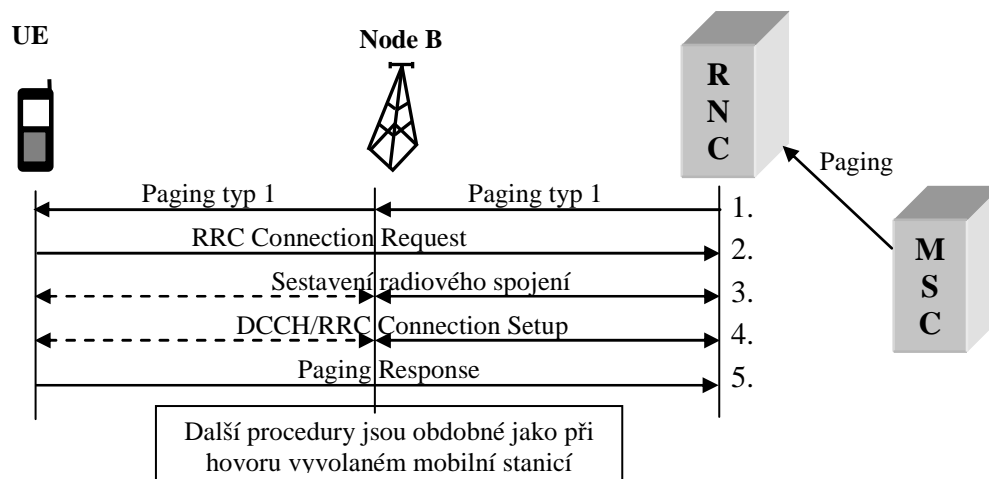
2.4.6.2 Hovor iniciovaný sítí

Hlavní rozdíl mezi hovorem iniciovaným mobilní stanicí a sítí je v tom, že hovor vyvolaný sítí je iniciován pagingovou zprávou vyslanou doménou CS jádra sítě (CN).

Jsou definovány 2 různé typy pagingových zpráv:

- **Typ 1** – tato zpráva je použita pokud je UE v RRC stavu Idle, Cell_PCH nebo URA_PCH, tzn. pokud není aktivní žádné jiné spojení využívající DCH nebo CCH.
- **Typ 2** – tato zpráva je použita pokud je UE v RRC stavu Cell_FACH nebo Cell_DCH, tzn. pokud již bylo navázáno RRC spojení následkem žádosti o sestavení DCCH pro RRC/MMSMMC do PS domény.

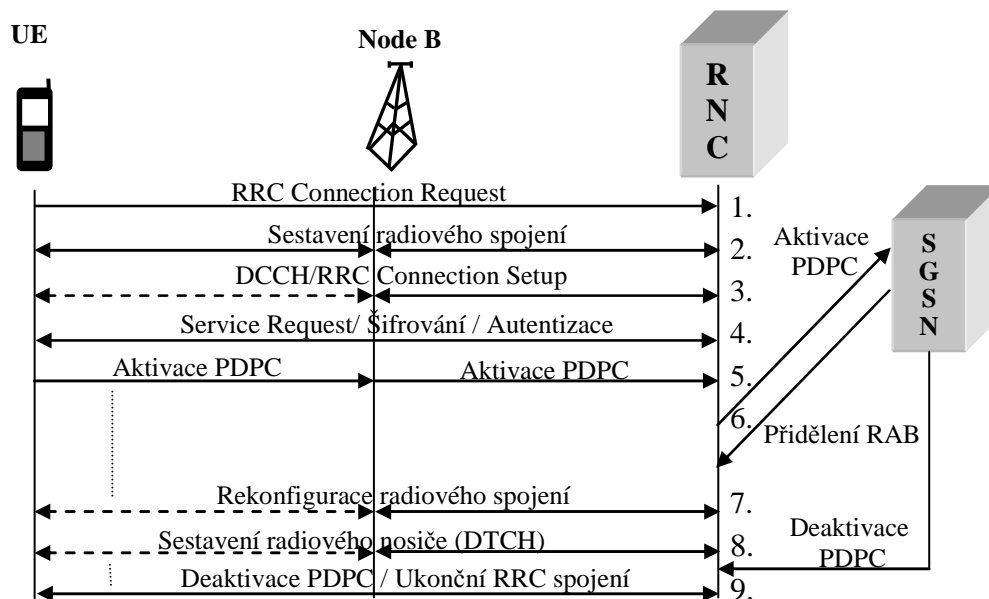
Tyto pagingové zprávy jsou posílány na kanálu PCH v downlinku. Logický kanál odpovídající tomuto kanálu je PCCH. Na tyto zprávy je odpověděno pagingovou odpovědí, která indikuje, že UE je schopné přijmout žádost o hovor (viz Obr. 2.16). Po přijetí této odpovědi síť pošle zprávu SETUP. Další zprávy jsou obdobné jako zprávy použité při hovoru vyvolaném mobilní stanicí (viz Obr. 2.17).



Obr. 2.17: Signalizace při hovoru vyvolaném sítí

2.4.6.3 Datové spojení

Pokud uživatel nebo síť aktivuje jakýkoliv typ datového přenosu, je aktivován tzv. PDP (Packet Data Protocol) Context (PDPC) a je deaktivován po skončení přenosu nebo po určitém čase.



Obr. 2.18: Signalizace při datovém spojení

- **Kroky 1-3** jsou obdobné jako v případě hovoru vyvolaného mobilní stanicí.
- **Krok 4:** Zpráva Service Request zjišťuje kolik PDPC běží na straně uživatele. Tato zpráva také spouští proceduru sestavení RAB. Nepovinná procedura šifrování/autentikace je použita k dvojitému ověření identity a k použití šifrování mezi RNC a UE.
- **Krok 5:** Aktivace PDPC začíná zprávou Activate PDP Context Request na MM/SM/CC vrstvě. Tato zpráva je předána RNC do SGSN v PS doméně. V případě již aktivního PDPC je procedura sestavení RAB spuštěna hned po žádosti služby Service Request
- **Krok 6:** PS doména definuje QoS parametry pro PDPC. Poté je sestaven RAB s touto QoS. Na rozhraní IuPS je RAB realizován tunelem GTP a na rozhraní Iub je reprezentován AAL2 SVC.
- **Krok 7:** Rekonfigurace rádiového spojení poskytuje radiové zdroje pro sestavení radiového nosiče (RB) v dalším kroku.
- **Krok 8:** Z hodnot parametrů vyjednaných při proceduře přidělení RAB je sestaveno nové radiové spojení pro přenos logických dedikovaných kanálů (DTCH).
- **Krok 9:** Deaktivace procedur pro PDPC je shodné jako procedury ukončení hlasového hovoru.

2.4.7 RRC funkce pro zajištění mobility spojení

Mobilita spojení vyjadřuje udržování informací o poloze UE během doby, kdy je UE v Connected módu. Pro tuhle funkci je definováno množství RRC procedur. Když jsou UE alokovány dedikované kanály, běžná cesta k řízení mobility je pomocí procedur tzv. *Active*

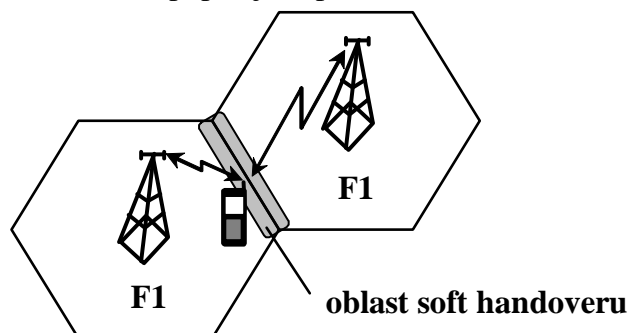
Set Update a Hard Handover. Když UE používá pouze společné kanály (RACH/FACH/PCH) během Connected módu, tak pro tyto účely jsou určeny specifické procedury. RRC procedury spojené s mobilitou zahrnují [17]:

- **Active Set Update** - aktualizace aktivní sady UE během stavu Cell_DCH
- **Hard Handover** – provedení inter-frequency nebo intra-frequency hard handoveru ve stavu Cell_DCH
- **Inter-system handover** – mezi UTRAN a jiným rádiovým přístupovým systémem (např. GSM)
- **Inter-system cell reselection** – reselection buňky mezi UTRAN a jiným rádiovým přístupovým systémem (např. GPRS)
- **Inter-system cell change order** – změna pořadí buněk mezi UTRAN a jiným rádiovým přístupovým systémem (např. GPRS)
- **Cell Update** - k ohlášení pozice UE do RNC ve stavu Cell_FACH nebo Cell_PCH
- **URA Update** - k ohlášení pozice UE do RNC ve stavu URA_PCH

Active Set Update

Tato procedura může mít funkci přidání rádiového spojení, odstranění rádiového spojení nebo přidání a odstranění kombinovaného rádiového spojení. Maximální počet současných rádiových spojení je 8 a je možné je všechny odstranit jediným příkazem Active Set Update.

Této procedury je využíváno při **soft handoveru**, kdy mobilní stanice komunikuje s více Node B na stejném kmitočtu (Intrafrequency handover) současně (výsledný signál vzniká až v RNC). Výhodou soft handoveru je průběh spojení bez jakéhokoliv přerušení, na druhou stranu z důvodu současné komunikace s více Node B více zatěžuje rádiový prostor systému. Měření při soft handoveru popisuje kapitola 2.4.8.4.



Obr. 2.19: Soft handover

Hard Handover

Procedura Hard Handover může být použita ke změně rádiového kmitočtu spojení mezi UE a UTRAN (Interfrequency handover) nebo ke změně buňky na stejném kmitočtu,

když síť nepodporuje makro diverzitu, nebo také ke změně módu mezi FDD a TDD, v určitém čase je možná komunikace UE pouze s jednou Node B. Tato procedura je použita pouze ve stavu Cell_DCH. Neexistují žádné signalizační zprávy pro hard handover, ale tato funkce může být vykonána jako část RRC procedur Rekonfigurace fyzického kanálu (Physical channel reconfiguration), Sestavení rádiového nosiče (Radio bearer establishment), Rekonfigurace rádiového nosiče (Radio bearer reconfiguration), Uvolnění rádiového nosiče (Radio bearer release) a Rekonfigurace transportního kanálu (Transport channel reconfiguration).

Inter-system handover z UTRAN

Tato procedura je použita pro handover z UTRAN do jiného rádiového přístupového systému kdy UE používá alespoň jeden RAB pro služby CS domény. Tato procedura může být použita ve stavu Cell_DCH a Cell_FACH. UE přijme parametry sousední (např. GSM) buňky buď v *System Information* nebo ve zprávě *Measurement Control*, tyto parametry jsou potřebné k měření dané buňky. Na základě výsledku měření UE včetně GSM měření, RNC rozhodne o provedení handoveru. Poté co jsou v GSM BSS rezervovány zdroje, RNC pošle příkaz *Handover From UTRAN Command* který nese *GSM Handover Command*. Protokol GSM RR v UE převezme řízení a pošle zprávu *GSM Handover Access* do GSM BSC. Po úspěšném dokončení handoveru GSM BSS iniciuje uvolnění zdrojů z UTRAN.

Inter-system handover do UTRAN

Tato procedura je použita pro handover z jiného rádiového přístupového systému (např. GSM) do UTRAN. Duální UE přijme parametry sousední UTRAN buňky ve zprávě *GSM System Information*. Parametry potřebné k měření UTRA FDD buněk jsou Downlink Centre frequency nebo *UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number (UARFCN)*, *Downlink Bandwidth*, *Downlink Scrambling Code* nebo skupina skramblovacích kódů pro CPICH a časový rozdíl mezi GSM a UMTS buňkou. Po přijetí zprávy o měření z GSM MS včetně měření UTRA a po rozhodnutí o handoveru, GSM BSC iniciuje rezervaci zdrojů z UTRAN RNC. V dalším kroku GSM BSC pošle příkaz *Inter-system Handover Command* který nese zprávu *UMTS Handover To UTRAN Command*, který obsahuje všechny informace potřebné k sestavení spojení k UTRA buňce. Po úspěšném dokončení handoveru RNC iniciuje uvolnění zdrojů z GSM BSS.

Inter-System Cell Reselection z UTRAN

Procedura Inter-System Cell Reselection z UTRAN je určena k přenosu spojení mezi UE a UTRAN do jiného rádiového přístupového systému jako GSM/GPRS. Může být iniciována ve stavech Cell_FACH, Cell_PCH a URA_PCH. Je řízena převážně UE.

Inter-System Cell Reselection do UTRAN

Procedura Inter-System Cell Reselection do UTRAN je určena k přenosu spojení mezi UE a jiným rádiovým přístupovým systémem do UTRAN. Je řízena převážně UE, UE iniciuje proceduru sestavení RRC spojení s UTRAN s parametrem *Inter-System Cell Reselection*.

Inter-System Cell Change Order z UTRAN

Procedura změny buňky z jiného rádiového přístupového systému (např. GSM/GPRS) do UTRAN. Je použita pro UE které má alespoň jeden rádiový nosič RAB v doméně PS a může být provedena v módu Cell_DCH a Cell_FACH. Je iniciována UTRAN zprávou *Cell Change Order*, která obsahuje alespoň požadované informace o cílové buňce.

Inter-System Cell Change Order do UTRAN

Procedura změny buňky z UTRAN do jiného rádiového přístupového systému (např. GSM/GPRS). Zpráva *cell change order* by měla obsahovat identitu cílové UTRAN buňky. Na straně UTRAN UE iniciuje sestavení RRC spojení s parametrem Inter-RAT cell change order.

Cell Update

Procedura aktualizace buňky může být spuštěna z několika důvodů včetně reselection buňky, vypršení časovače pro periodickou aktualizaci buněk, zahájení přenosu dat v uplinku, pagingu ze sítě a chybou rádiového spojení ve stavu Cell_DCH.

Potvrzení *Cell Update Confirm* může obsahovat UTRAN informace o mobilitě pro UE (U-RNTI a C-RNTI). Může obsahovat také zrušení nebo rekonfiguraci rádiového nosiče, rekonfiguraci transportního nebo fyzického kanálu. UE odpoví zprávou *UTRAN Mobility Information Confirm*.

URA Update

Procedura Utran Registration Area Update (aktualizace UTRAN registrační oblasti) je použita ve stavu URA_PCH. Může být spuštěna buď po reselection buňky (když nová buňka nevysílá identifikátor URA) nebo po vypršení časovače URA Update. Protože není možné aby UE vysílala data ve stavu URA_PCH, musí dočasně přejít do stavu Cell_FACH kvůli potvrzení této procedury. UTRAN registrační oblasti by měly být hierarchické kvůli předejití nadměrné signalizace. To znamená, že v jedné buňce by mělo být vysíláno několik URA identifikátorů a jednotlivé UE by náležely rozdílným URA. UE má vždy jen jednu URA, pokud buňka vysílá více URA, RNC přiřadí jednu URA prostřednictvím zprávy *URA Update Confirm*.

2.4.8 Procedury měření rádiového rozhraní

Po sestavení RRC spojení SRNC (Serving RNC) posílá zprávu RRC Measurement Control do UE. Tato zpráva obsahuje informaci o tom, jaké sousední buňky má UE monitorovat a jaké zprávy o měření SRNC očekává od UE.

Různé druhy měření jsou rozděleny do několika skupin. Každá skupina měření je popsána skupinou tzv. „Event-ID“, které jsou pak použity pro hlášení o měření, které bylo spuštěno nějakou událostí (určitý parametr překročí definovanou hodnotu). SRNC může také přikázat UE periodické zaslání hlášení o měření, ale toto se typicky nepoužívá.

Měření popsaná v této kapitole se vztahují pouze k UMTS FDD [1].

2.4.8.1 Typy RRC měření

Následující tabulka (Tab. 2.7) znázorňuje RRC měření definovaná ve specifikaci 3GPP 25.331.

Tab. 2.7: Typy RRC měření a skupiny identifikátorů

Typ měření	Skupina Event-ID	Typická úloha
Intrafrekvenční měření	e1...	Spouští softer nebo soft handover a intrafrekvenční hard handover pokud je třeba
Interfrekvenční měření	e2...	Spouští interfrekvenční hard handover
Inter-RAT měření	e3...	Spouští handover z UTRAN (např. do GSM)
Měření provozu	e4...	Spouští změnu RRC stavu zatímco PDP zůstává aktivní
Oznamování kvality	e5...	Informace pro SRNC že je překročen daný počet chyb CRC na straně UE
Interní UE měření	e6...	Doručí informaci o vysílacím výkonu UE (např. je-li maximální výkon překročen)
Hlášení o pozici UE (3GPP Rel.4 a vyšší)	e7...	Informuje síť o problémech s přesností pozice

2.4.8.2 Kategorie buněk

Měřené buňky jsou rozděleny do tří rozdílných sad (viz Tab. 3.7 a Tab. 3.13)

- **Aktivní sada** buněk - Buňky aktivní sady jsou FDD buňky zapojené v softer a/nebo soft handoveru, tedy buňky patřící do aktivní sady UE.
- **Monitorovaná sada** buněk - Buňky monitorované sady nepatří do aktivní sady, ale jsou monitorovány podle seznamu sousedních buněk určených SRNC v řídicích informacích měření. UE může získat tento seznam buď použitím zprávy RRC Measurement Control zasláné na DCCH nebo přečtením SIB 11 nebo 12 z BCCH.

- **Detekovaná sada buněk** - Buňky detekované sady byly detekovány UE nehledě na to že nepatřily do aktivní sady nebo nebyly zmíněny v seznamu sousedních buněk. Měření těchto buněk je prováděno pouze když UE je ve stavu Cell-DCH.

2.4.8.3 Inicializace intrafrekvenčního měření

Pro inicializaci RRC měření existují 2 způsoby. Při prvním z nich UE přečte tzv. Cell Info List, který je obsažen v SIB 11 nebo 12 na BCH kanále aktuální buňky identifikované primárním skramblovacím kódem. Při druhém způsobu SRNC pošle zprávu RRC Measurement Control po úspěšném sestavení RRC spojení. Tyto zprávy jsou posílány na kanálu DCCH v downlinku.

V případě intrafrekvenčního měření je UE zaslán seznam sousedních buněk který obsahuje primární skramblovací kódy buněk, které mají být měřeny a přiřadí Cell ID každé buňce v seznamu. Poté je definována kvantita měření parametrem E_c/N_0 (Energy per Chip-to-Total Noise) což je poměr výkonu přijatého signálu (RSCP - Received Signal Code Power) na kanále P-CPICH a celkové síly signálu nosné frekvence (RSSI - Received Signal Strength Indicator)(2). Buňka je vhodná, pokud splňuje kritéria pro selekci buňky (3). Tato kritéria jsou Squal (4) a Srxlev

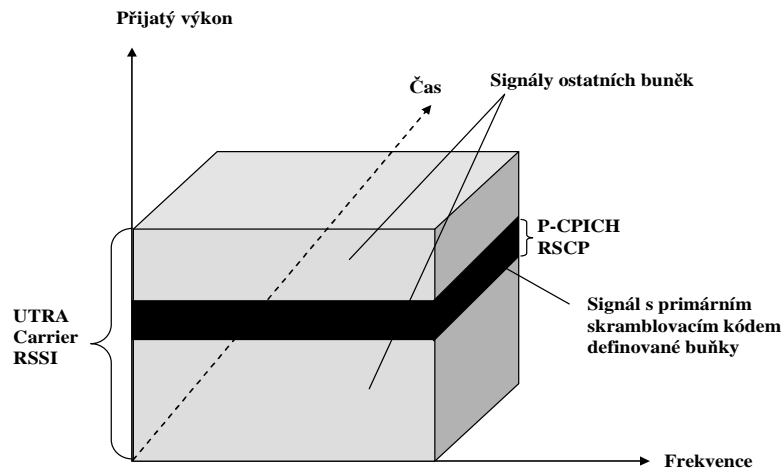
(5) [1].

$$E_c / N_0 = \frac{P - CPICH \ RSCP}{UTRA \ Carrier \ RSSI} \quad (2)$$

$$Srxlev > 0; Squal > 0 \quad (3)$$

$$Squal = Q_{qualmeas} - (Q_{qual \ min} + Q_{qual \ min \ Offset}) \quad (4)$$

$$Srxlev = Q_{rxlevmeas} - (Q_{rxlev \ min} + Q_{rxlev \ min \ Offset}) - P_{compensation} \quad (5)$$



Obr. 2.20: RSSI a P-CPICH RSCP

2.4.8.4 Události intrafrekvenčního měření

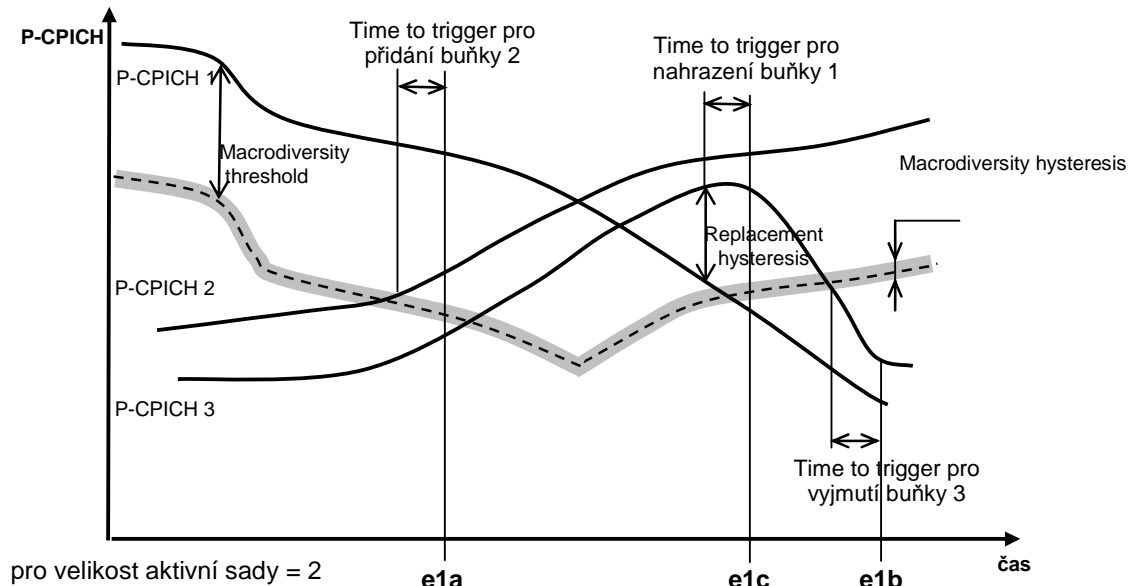
Standard 3GPP 25.331 definuje následující události intrafrekvenčního měření FDD buněk:

- **e1a** – Primární CPICH vstoupí do oznamovacího rozsahu (reporting range)
- **e1b** – Primární CPICH opustí oznamovací rozsah (reporting range)
- **e1c** – Neaktivní primární CPICH se stane lepším než aktivní primární CPICH
- **e1d** – Změna nejlepší buňky
- **e1e** – Primární CPICH se stane lepším než absolutní práh
- **e1f** – Primární CPICH se stane lepším než absolutní práh

Identifikátory události e1a a e1b jsou použity ve zprávě Measurement Control když má být měřena hodnota E_c/N_0 primárního CPICH a e1e a e1f jsou použity když je měřena absolutní síla signálu primárního CPICH. Událost e1a typicky spouští přidání rádiového spojení při soft a softer handoveru, událost e1b spouští zrušení rádiového spojení. E1c může spustit zrušení rádiového spojení s následným přidáním jiného spojení když aktivní sada spojení už obsahuje jejich maximální počet. Tato operace se také nazývá nahrazení rádiového spojení (radio link replacement). Událost e1d je používána ke spuštění změny buňky HSDSCH (HSDPA handover). Události e1e a e1f jsou používány pro aktivaci a deaktivaci komprimovaného módu měření a identifikátory událostí e1g, e1h a e1i popisují události intrafrekvenčního měření v TDD [1] [15].

Oznamovací rozsah (reporting range/macrodiversity threshold) je omezené pásmo úrovně nejsilnější buňky aktivní sady. Obrázek naznačuje situaci kdy primární CPICH sousední buňky vstoupí a vystoupí z oznamovacího rozsahu a odpovídající zpráva o měření je poslána do SRNC.

Hystereze (macrodiversity hysteresis) je použita k definování hranice nejnižší úrovně oznamovacího rozsahu. Hystereze zaručuje, že jsou oznamovány pouze podstatné změny.

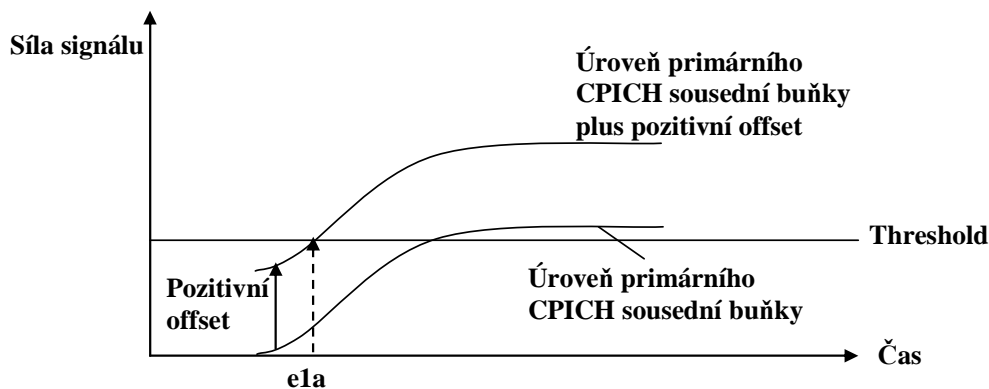


Obr. 2.21: Vliv parametrů hystereze, time to trigger a threshold

V uvedeném příkladu (viz Obr. 2.21) je znázorněno, kdy nastanou a jsou oznamovány události e1a, e1b a e1c pro buňky 1, 2 a 3.

Další parametr, který limituje oznamování RRC měření je tzv. „**time-to-trigger**“, který eliminuje oznamování měření způsobených krátkodobými špičkami úrovně signálu, tzn. pouze buňka, která zůstává silná po delší čas (definován hodnotou time-to-trigger) je přidána do aktivní sady spojení (viz Obr. 2.21).

Dalším parametrem je „**offset**“, což je hodnota přidaná nebo odečtená od změřené úrovně signálu (viz Obr. 2.22). Tato hodnota je různá pro každou měřenou buňku. Výsledkem je, že událost bude oznámena dříve nebo později než dosáhne prahové hodnoty dané buňky. To může být užitečné když operátor ví, že některá buňka by měla být zvýhodněna („positive offset“), i když zatím není dostatečně silná. V praxi se většinou používá negativní offset („negative offset“), protože je dobré odebrat buňky z aktivní sady už když mají sklon k velmi rychlé ztrátě signálu. Je také možné některé definované buňky z RRC měření úplně vyloučit.



Obr. 2.22: Vliv parametru Offset

2.4.8.5 Interfrekvenční měření

Interfrekvenční měření je iniciováno stejnou cestou jako měření buněk na stejné frekvenci jakou používá aktuální buňka. Zpráva Measurement Control zaslaná do UE v tomto případě obsahuje „interfrekvenční seznam buněk“

Standard 3GPP 25.331 definuje následující události interfrekvenčního měření FDD buněk:

- **e2a** – Změna frekvence
- **e2b** – Kvalita signálu aktuálního použitého pásma je nižší než určitá prahová hodnota, přičemž kvalita signálu nepoužitého pásma je vyšší.
- **e2c** – Kvalita signálu nepoužitého pásma je vyšší než určitá prahová hodnota.
- **e2d** – Kvalita signálu aktuálního použitého pásma je nižší než určitá prahová hodnota.
- **e2e** – Kvalita signálu nepoužitého pásma je nižší než určitá prahová hodnota.
- **e2f** – Kvalita signálu aktuálního použitého pásma je vyšší než určitá prahová hodnota.

2.4.8.6 Další typy RRC měření

Skupina událostí e3 popisuje měření mezi různými rádiovými přístupovými technologiemi RAT (Radio Access Technology), např. buňky GSM, CDMA2000 nebo TDMA. Tyto sítě mohou být monitorovány kvůli případné změně RAT, pokud se zhorší podmínky v síti UTRAN.

Události definované pro „inter-RAT“ měření:

- **e3a** – Kvalita signálu aktuálního použitého pásma UTRAN je nižší než určitá prahová hodnota, přičemž kvalita signálu jiného RAT je vyšší.
- **e3b** – Kvalita signálu jiného RAT je nižší než určitá prahová hodnota.
- **e3c** – Kvalita signálu jiného RAT je vyšší než určitá prahová hodnota.
- **e3d** – Změna nejlepší buňky jiného RAT.

Skupina událostí **e4** popisuje měření mezi různými rádiovými přístupovými technologiemi RAT (Radio Access Technology), např. buňky GSM, CDMA2000 nebo TDMA. Tyto sítě mohou být monitorovány kvůli případné změně RAT, pokud se zhorší podmínky v síti UTRAN. Používá se tzv. kompresního módu, kdy UE měří buňky jiného přístupového systému během přenosu dat v UTRAN, využívá se pozastavení aktuálního přenosu dat a UE může měřit na jiné frekvenci. Aby se tedy žádná data neztratila, je nutné je zkomprimovat [1] (Tab. 3.4).

Událost **e5a** je použita pro ohlášení velkého počtu CRC chyb na downlinkovém transportním kanále (BLER), pokud tento počet překročí prahovou hodnotu.

Skupina událostí **e6** je použita pro ohlášení úrovně výkonu UE pokud dosáhne určité (příliš nízké či příliš vysoké) úrovně 76[2].

3 MĚŘENÍ SÍTĚ UMTS

3.1 APLIKACE NOKIA FTD

Aplikace Field Test Display je aplikací určenou pro monitorování mobilních sítí GSM a sítí založených na W-CDMA. Je určena pro mobilní terminály Nokia s operačním systémem Symbian od verze 6.1. Tato aplikace vychází ze servisního menu starších mobilních terminálů Nokia.

3.1.1 Instalace FTD

Instalace programu FTD byla provedena na mobilním terminálu Nokia E51 (řada BB5.0, označení RM-244). Tento přístroj funguje na operačním systému Symbian 9.2 S60 3rd Edition FP1 s verzí firmwaru 200.34.36 z 24.4.2008. Program FTD byl použit ve verzi 1.00 z 11.5.2006. Program potřebuje pro svou funkci přístup do některých systémových složek, bylo tedy nutné pro jeho instalaci použít jinou aplikaci, která toto umožnila (v našem případě QuickHackIt). Program FTD byl instalován z instalačního souboru FieldTest 9.2.sisx standardním způsobem.

3.1.2 Měření pomocí FTD

Aplikace FTD nijak neomezuje používání mobilního terminálu, v případě používání jiné aplikace zůstává spuštěna na pozadí. Uživatelské rozhraní aplikace FTD má 3 módy, tzv. Execute mód (vykonávací), Data display mód (zobrazovací) a Help mód (nápověda). Vykonávací mód dovoluje například vymazání čítačů, uzamknutí k NodeB atd. Zobrazovací mód je základní mód, ve kterém můžeme vidět hodnoty jednotlivých parametrů. Program je rozdělen do několika skupin, z nichž každá obsahuje několik podskupin. Mezi skupinami se dá přepínat pomocí horizontálních navigačních kláves a mezi podskupinami pomocí vertikálních (viz Obr. 3.1) [16]. Následující kapitoly znázorňují jednotlivé displeje programu FTD pro měření sítě UMTS včetně jejich náhledů s konkrétními hodnotami.



Obr. 3.1: Aplikace FTD

3.1.3 Skupina 41: WCDMA

3.1.3.1 Displej 41.01: RACH zpráva

Tento displej znázorňuje detailní informace o posledním přenosu RACH zprávy.

Tab. 3.1: Displej 41.01

<pre> +++++ + RACH MSG TX profile + + Initial TtxPower aaa + + Po bbb Pp_m ccc SFN ddd + + A_slot ee SubChan fff + + Lenght g Sign_m hhhh + + Sign_rnd iiii Pre lll + + D_CH_G k C_CH_G j + + Message m data n + + Message tx power ooo + +++++ </pre>	<pre> RACH MSG TX profile Initial TtxPower -28 PO 2 Pp_m 2 SFN 8E4 A_slot 10 SubChan FFF Lenght 2 Sign_m F Sign_rnd 1860 Pre 9 D_CH_G F C_CH_G C Message 1 data 1 Msg tx power -6 </pre>
--	--

Tab. 3.2: Popis hodnot displeje 41.01

Zkratka	Parametr	Význam	Pozn.
aaa	Initial TXtxPower	Počáteční přenosový výkon [dBm]	S tímto výkonem vstupovalo UE do buňky.
bbb	Po	Parametr ΔP [dBm]	Výkonový krok
ccc	Pp_m	Parametr Pp_m [dBm]	Vysílací výkon řídicí části RACH zprávy
ddd	SFN	System frame number (HEX)	Parametr pro časování přenosu dat
ee	A_slot	První použitý access slot	Tento slot využilo UE při vstupu do buňky.
fff	SubChan	Maska subkanálu (HEX)	Pro poskytnutí priorit spojení.[1]
g	Lenght	Délka RACH zprávy	1: 10ms 2: 20ms
hhh	Sign_m	Značka masky subkanálu	Značka délky 16 čipů [1]
iiii	Sign_rnd	Náhodná značka	K náhodnému výběru access slotu [1]
lll	Pre	Počet přenesených záhlaví (HEX)	
k	D_CH_G	Zisk v datovém kanále (HEX)	
j	C_CH_G	Zisk v řídicím kanále (HEX)	
m	Message	Rozhodnutí o přenosu zprávy	0: Zpráva nebyla přenesena 1: Zpráva přenesena 2: Přenos zprávy zamítnut
n	data	Rozprostírací faktor	0:SF256 1:SF128 2:SF64 3:SF32
ooo	Msg tx power	Hodnota výkonu při přenosu zprávy [dBm]	

3.1.3.2 Displej 41.02: Stav řízení výkonu v uplinku

Na tomto displeji je zobrazen přehled o řízení výkonu na aktuálním vyhrazeném uplinkovém kanále.

Tab. 3.3: Displej 41.02

<pre> +++++ + Dedicated tx power info + + Tx min/max aaa bbb + + Tx current ccc + + Algo e step f SSdT g + + Tx loop h DPCCH i + + Comp mode j sync k + + PhCh min l PhCh max m + + PhCh average nnnnn + + Ul+ ooooo Ul- ppppp + +++++ </pre>	<pre> Dedicated tx power info Tx min/max -38 -28 Tx current -37 Algo 1 step 1 SSdT 0 Tx loop 0 DPCCH 0 Comp mode 0 sync 0 PhCh min 0 PhCh max 3 PhCh average 129 Ul+ 749 Ul- 751 </pre>
---	--

Tab. 3.4: Popis hodnot displeje 41.02

Parametr	Význam	Pozn.
Tx min/max	Minimální / maximální vysílaný výkon [dBm]	
Tx current	Aktuální vysílací výkon [dBm]	
Algo	Aktuální algoritmus řízení výkonu	1: algoritmus 1 2: algoritmus 2
step	Parametr Δ_{TPC} [dBm]	Velikost výkonového kroku pro řízení výkonu
SSdT	Technika diverzitního příjmu	1: není aktivní 2: je aktivní
Tx loop	Řízení vysílacího výkonu uzavřenou smyčkou	0: není aktivní 1: mód 1 2: mód 2
DPCCH	Formát DPCCH rámce	hodnoty 1-5
Comp mode	Použití kompresního módu	0: Kompresní mód nepoužit 1: Kompresní mód použit (během přenosu dat UE měří i na jiné f)
sync	Stav Out of sync synchronizace	0: Out of sync neaktivní 1: Out of sync aktivní (vypíná vysílač UE při nízké kvalitě kanálu DPCCH)[22]
PhCh min	Minimální bitová rychlost v PhCH použita pro uplink rámců	Rozsah 1-6: $2^{(PhCh\ min - 1)} * 150$ Rozsah 8-12: $(PhCh\ min - 6) * 9600$
PhCh max	Maximální bitová rychlost v PhCH použita pro uplink rámců	Rozsah 1-6: $2^{(PhCh\ max - 1)} * 150$ Rozsah 8-12: $(PhCh\ max - 6) * 9600$
PhCh average	Průměrná bitová rychlost v PhCH použita pro uplink rámců	(0-57600)
Ul+	Vysílací výkon po příkazu k jeho zvýšení	
Ul-	Snížený výkon po příkazu k jeho zvýšení	

3.1.3.3 Displej 41.03: Stav řízení výkonu v downlinku

Tento displej poskytuje přehled o řízení výkonu na aktuálním vyhrazeném downlinkovém kanále.

Tab. 3.5: Displej 41.03

<pre> +++++ + Dedicated tx power info + + + + SIR minimum aaaa + + SIR maximum bbbb + + SIR current cccc + + Downlink increase dddd + + Downlink decrease eeee + + + + + +++++ </pre>	<pre> Dedicated tx power info SIR minimum 30 SIR maximum 31 SIR current 30 Downlink increase 688 Downlink decrease 812 </pre>
---	---

Tab. 3.6: Popis hodnot displeje 41.03

Zkratka	Parametr	Význam
aaaa	SIR minimum	SIR_{min} [dBm]
bbbb	SIR maximum	SIR_{max} [dBm]
cccc	SIR current	SIR_{act} [dBm]
dddd	Downlink increase	Počet příkazů ke snížení výkonu
eeee	Downlink decrease	Počet příkazů ke zvýšení výkonu

Hodnota SIR_{min} značí minimální odstup signál-šum, který musí být zajištěn pro správné rozpoznání dat v UE. Naopak SIR_{max} omezuje maximální odstup signál-šum pro zamezení rušení ostatních stanic.

3.1.3.4 Displej 41.10: Shrnutí okolních FDD buněk

Tento displej shrnuje počet buněk aktivní, monitorované, detekované a nedetekované sady (viz 2.4.8.2) na 3 frekvencích. Aktivní a detekovaná sada obsahuje pouze buňky na domácí frekvenci.

Tab. 3.7: Displej 41.10

<pre> +++++ + FDD neighbour cell info + + Active cells aa + + Intra cells bb + + Inter 1 freq cc + + Inter 2 freq dd + + Detected cells ee + + Intra cells undetect ff + + Inter 1 freq undet gg + + Inter 2 freq undet hh + +++++ </pre>	<pre> FDD neighbour cell info Active cells 1 Intra cells 2 Inter 1 freq 0 Inter 2 freq 0 Detected cells 0 Intra cells undetect 25 Inter1 freq undet 0 Inter2 freq undet 0 </pre>
---	--

Tab. 3.8: Popis hodnot displeje 41.10

Zkratka	Parametr	Význam
aa	Active cells	Počet buněk aktivní sady
bb	Intra cells	Počet buněk na intra frekvenci v monitorované sadě
cc	Inter 1 freq	Počet buněk na první inter frekvenci v monitorované sadě
dd	Inter 2 freq	Počet buněk na druhé inter frekvenci v monitorované sadě
ee	Detected cells	Počet buněk detekované sady
ff	Intra cells undetect	Počet netedetekovaných buněk na intra frekvenci ze seznamu sousedních buněk
gg	Inter 1 freq undet	Počet netedetekovaných buněk na první inter frekvenci ze seznamu sousedních buněk
hh	Inter 2 freq undet	Počet netedetekovaných buněk na druhé inter frekvenci ze seznamu sousedních buněk

3.1.3.5 Displej 41.11: Hodnocení FDD buněk

Na tomto displeji jsou zobrazeny 4 nejlépe hodnocené buňky. Hodnotící kritéria (RSCP, EcNo) jsou automaticky vybrány v závislosti na parametrech získaných ze sítě (2.4.8.3).

Tab. 3.9: Displej 41.11

+++++	FDD ranking summary
+ FDD ranking summary +	Freq1 BS1 System
+ Freq1 BS1 System +	10564 406 W
+ aaaaa eee i +	Freq2 BS2 System
+ Freq2 BS2 System +	10564 422 w
+ bbbbb fff j +	Freq3 BS3 System
+ Freq3 BS3 System +	10564 411 W
+ ccccc ggg k +	Freq4 BS4 System
+ Freq4 BS4 System +	0 0 -
+ ddddd hhh l +	
+++++	

Tab. 3.10: Popis hodnot displeje 41.11

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaa	Freq1	Frekvenční kód buňky 1, frekvence=Freq1 / 5
bbbbbb	Freq2	Frekvenční kód buňky 2, frekvence=Freq2 / 5
ccccc	Freq3	Frekvenční kód buňky 3, frekvence=Freq3 / 5
dddddd	Freq4	Frekvenční kód buňky 4, frekvence=Freq4 / 5
eee-hhh	BS1-4	Cell ID
i, j, k, l	System	Označení buněk viz: “W“ – FDD domovská buňka, “w“ – FDD sousední buňka, “g“ – GSM sousední buňka

3.1.3.6 Displej 41.12: Shrnutí naměřených hodnot FDD

Zde jsou zobrazeny naměřené hodnoty RSSI na třech FDD frekvencích, ovšem většinou velká část buněk pracuje na stejné frekvenci, s výjimkou například mikrobuněk či menších buněk.

Tab. 3.11: Displej 41.12

<pre> +++++++ + FDD frequency summary + + + + Freq INTRA RSSI + + aaaaa dddd + + Freq INTRA RSSI + + bbbbb eeee + + Freq INTRA RSSI + + cccc ffff + + + +++++++ </pre>	<pre> FDD frequency summary Freq INTRA RSSI 10564 696 Freq INTRA RSSI 0 0 Freq INTRA RSSI 0 0 </pre>
--	---

Tab. 3.12: Popis hodnot displeje 41.12

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaa	Freq	Frekvenční kód domácí buňky, frekvence=Freq / 5
bbbbbb, cccc	Freq	Frekvenční kódy buněk na inter frekvenci, frekvence=Freq / 5
dddd	INTRA RSSI	Hodnota RSSI domácí buňky
eeee, ffff	INTRA RSSI	Hodnota RSSI první buňky na inter frekvenci

3.1.3.7 Displej 41.13: Shrnutí buněk na intra frekvenci

Tento displej zobrazuje status osmi nejlépe hodnocených sousedních buněk na domácí frekvenci.

Tab. 3.13: Displej 41.13

<pre> +++++++ + FDD intra freq neigh + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + a bbb cc d eee ff + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + g hhh ii j kkk ll + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + m nnn oo p qqq rr + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + s ttt uu v xx yy + +++++++ </pre>	<pre> FDD intra freq neigh Stat ID Ec Stat ID Ec m 406 9 a 422 9 Stat ID Ec Stat ID Ec m 411 15 - 0 0 Stat ID Ec Stat ID Ec - 0 0 - 0 0 Stat ID Ec Stat ID Ec - 0 0 - 0 0 </pre>
--	--

Tab. 3.14: Popis hodnot displeje 41.13

Zkratka	Parametr	Význam
a,d,g,j,m ,p,s,v	Stat	Status buňky: “a“ – aktivní buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “m“ – monitorovaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “d“ – detekovaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “u“ – nedetekovaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “n“ – nerozeznaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “A“ - aktivní buňka, STTD aktivní na PCCPCH “M“ - monitorovaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH “D“ - detekovaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH “U“ - nedetekovaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH “N“ - nerozeznaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH
bbb,eee, hhh,kkk, qqq,ttt, xxx	ID	Node B ID
cc,ff,ii, ll,oo, rr,uu,yy	Ec	Hodnota Ec/No domácí buňky (viz 2.4.8.3)

3.1.3.8 Displej 41.17: Detailní informace o vybrané buňce

Na tomto displeji je možno zjistit detailní informace o vybrané buňce. Program umožňuje vybrat buňku zadáním frekvenčního kódu a Cell ID.

Tab. 3.15: Displej 41.17

<pre> +++++ + FDD detailed cell info + + + + Frequency code aaaaa + + RSSI bbbb BsID ccc + + R_Order dd BsStatus e + + Syncro f TxDiv g + + Frame timing hhhhh + + SCPICH l EcNO jjj + + RSCP kkkk + +++++ </pre>	<pre> FDD detailed cell info Frequency code 0 RSSI 0 BsID 0 R_Order 0 BsStatus N Syncro - TxDiv - Frame timing 0 SCPICH - EcNO 0 RSCP 0 </pre>
---	---

Tab. 3.16: Popis hodnot displeje 41.17

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaa	Frequency code	Frekvenční kód vybrané buňky, frekvence= aaaaa / 5
bbbb	RSSI	RSSI vybrané buňky
ccc	BsID	Cell ID
dd	R_Order	Pořadí buňky
e	BsStatus	Status NodeB: A: patří do aktivní sady M: patří do monitorované sady D: patří do detekované sady

		U: nedetekovaná buňka N: Node B jiného operátora
f	Syncro	Status synchronizace: N: nesynchronizováno S – synchronizováno D – dekódovaný SFN
g	TxDiv	Status diverzitního příjmu: - - STTD není použit na PCCPCH s – STTD je použit na PCCPCH
hhhh	Frame timing	Rámcové časování ve vybrané buňce v závislosti na systémových hodinách
l	SCPICH	Status měření na kanále S-CPICH - - S-CPICH nepoužit S- S-CPICH použit
jjj	EcNO	Ec/No
kkkk	RSCP	RSCP

3.1.4 Skupina 46: WCDMA RAN systém

3.1.4.1 Displej 46.01: RRC stav

Displej 46.01 znázorňuje aktuální RRC stav, doménu ve které je aktivní služba realizována a informace o šifrování.

Tab. 3.17: Displej 46.01

<pre> +++++ + RRC Global status + + + + Global state aaaaaaaa + + Active Domain CS: b + + Active Domain PS: c + + Drop cause dddddddddd + + CIPHERING CS e + + CIPHERING PS f + + + +++++ </pre>	<pre> RRC Global status . Global state cell-dch Active Domain CS: 1 Active Domain PS: 0 Drop cause NORMALRELEAS CIPHERING CS 1 CIPHERING PS 0 </pre>
--	---

Tab. 3.18: Popis hodnot displeje 46.01

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaaaa	Global state	RRC stav (2.3.2.1.5): OoZ, idle-pch, cell-dch, cell-fach, cell-pch, ura-pch
b	Active domain CS	RRC aktivní doména CS (Circuit Switched): 0/1
c	Active domain PS	RRC aktivní doména PS (Packet Switched): 0/1
ddddddd	Drop cause	Příčina ukončení posledního spojení
e	CIPHERING CS	Status šifrování v CS doméně: 0 – vypnuto, 1 – zapnuto
f	CIPHERING PS	Status šifrování v PS doméně: 0 – vypnuto, 1 – zapnuto

3.1.4.2 Displej 46.02: RRC zprávy

Tento displej znázorňuje posledních sedm RRC zpráv od MSC, přičemž nejstarší zpráva je vždy prázdná.

Tab. 3.19: Displej 46.02

+++++++ + +++++++	PEER message MSC
+ PEER message MSC +	PEER message ID MeCn
+ PEER message ID aaaaa +	PEER message ID
+ PEER message ID bbbbb +	PEER message ID ASUp
+ PEER message ID ccccc +	PEER message ID MeCn
+ PEER message ID ddddd +	PEER message ID ASUpC
+ PEER message ID eeeee +	PEER message ID ASUp
+ PEER message ID fffff + v	PEER message ID MeCn
+ PEER message ID hhhhh +	PEER message ID ASUpC
+++++++ + +++++++	

Tab. 3.20: Popis hodnot displeje 46.02

Zkratka	Parametr	Význam
a(5)...h(5)	PEER message ID	RRC zpráva, význam jednotlivých zkratek viz [16].

3.1.4.3 Displej 46.03: Hodnoty RNTI

Zde jsou znázorněny aktuální hodnoty RNTI (Radio Network Temporary Identifier), USRNTI (UTRAN Service RNTI) – dočasný indikátor přiřazený UE při RRC spojení a C-RNTI (Cell-RNTI).

Tab. 3.21: Dispej 46.03

+++++++	RNTI values
+ RNTI values +	
+ +	
+ USRNC identity aaa +	USRNC identity ED09
+ USRNTI bbbbb +	USRNTI 111904
+ C-RNTI cccc +	C-RNTI 0
+ +	
+ +	
+ +	
+ +	
+++++++	

Tab. 3.22: Popis hodnot displeje 46.03

Zkratka	Parametr	Význam
aaa	USRNC identity	Identifikátor SRNC (0-FFFF)
bbbbb	USRNTI	Identifikátor USRNTI (0-FFFF)
cccc	C-RNTI	Identifikátor C-RNTI (0-FFFF)

3.1.4.4 Displej 46.04: Schopnosti šifrování

Na tomto displeji je možno zobrazit a nastavit schopnosti šifrování – možné vstupy viz [16].

Tab. 3.23: Displej 46.04

<pre> +++++ + Ciphering capability + + + + UEA0 ciphering: + + aaaaaaaa + + + + UEA1 ciphering: + + bbbbbbbb + + + + + +++++ </pre>	<pre> Ciphering capability : UEA0 ciphering: ENABLED UEA1 ciphering: ENABLED </pre>
---	---

Tab. 3.24: Popis hodnot displeje 46.04

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaaaa	UEA0 ciphering	Status šifrovacího algoritmu UEA0 – ENABLED / DISABLED
bbbbbbb	UEA1 ciphering	Status šifrovacího algoritmu UEA1 – ENABLED / DISABLED

3.1.4.5 Displej 46.05: Selekcce buňky

Zde jsou zobrazeny informace o aktuální síti PLMN (Public Land Mobile Network).

Tab. 3.25: Displej 46.05

<pre> +++++ + Cell selection - 2 + + + + PLMN number aaaaaa + + Search type bbbbbbb + + Trigger type cccccc + + PLMN frequency ddddd + + PLMN scramble code eee + + + + + +++++ </pre>	<pre> Cell selection - 2 PLMN number 23002F Search type Fr/Scr Trigger type NotApl PLMN frequency 10564 PLMN scramb code 422 </pre>
--	---

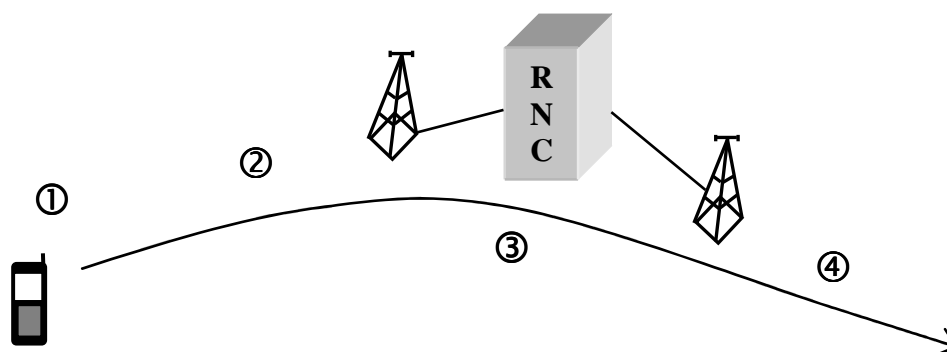
Tab. 3.26: Popis hodnot displeje 46.05

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaaaa	PLMN number	Označení PLMN (0-FFFFFF)
bbbbbbb	Search type	Způsob, jakým byla buňka dané PLMN nalezena.
ccccc	Trigger type	Důvod spuštění hledání daného PLMN.
dddddd	PLMN frequency	Frekvenční kód PLMN
eee	PLMN scramble code	Skramblovací kód aktuální buňky dané PLMN

3.2 MĚŘENÍ PARAMETRŮ REÁLNÉ SÍTĚ

Pro většinu měření reálné sítě je využita UMTS síť operátora O2, což je síť typu UMTS FDD, využívající technologii HSPA. Pro některá měření datového spojení byla použita UMTS síť operátora Vodafone kvůli porovnání těchto dvou sítí.

V dalších kapitolách jsou popsány jednotlivé procedury reálného chování mobilní stanice v síti UMTS.



Obr. 3.2 Schéma pohybu UE v síti

- ① Přihlášení UE do sítě (kap.3.2.1)
- ② Hlasový hovor (kap. 3.2.2)
- ③ Handover (kap.3.2.4) / Reselekce buňky (kap.3.2.5)
- ④ Datové spojení (kap. 3.2.6)

3.2.1 Přihlášení UE do sítě

Při vstupu do buňky UE přijme výkonový krok ΔP a vysílá RACH zprávu s určitým výkonem a čeká na potvrzení, zda se může s buňkou synchronizovat (viz kap.2.4.1.2.1). Z obrázku jsou patrné tyto důležité parametry:

- vysílací výkon pro RACH zprávu je -45dBm,
- výkonový krok ΔP je 2dBm,
- délka RACH zprávy je 20ms,
- rozprostírací faktor je 128

Ostatní parametry RACH zprávy jsou popsány v Tab. 3.2.

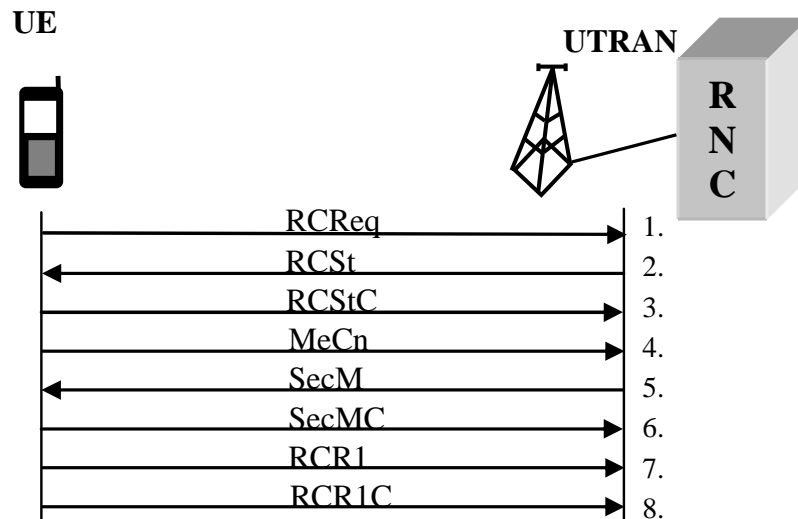
```

RACH MSG TX profile
Initial TxbPower      -45
PO 2   Pp_m 2   SFN E28
A_slot 10   SubChan FFF
Lenght  2   Sign_m F
Sign_rnd   E96D Pre  7
D_CH_G   F   C_CH_G   C
Message  1   data    1
Msg tx power          -27

```

Obr. 3.3: RACH zpráva

Komunikace UE se sítí během přihlášení do sítě sestává z několika RRC zpráv přenášejících v obou směrech. Dle naměřených hodnot dojde po přihlášení k nejlepší buňce k navázání RRC spojení do CS domény pro registraci, přejde tedy do RRC stavu Cell_DCH a poté se z domény CS odhlásí a přejde do stavu Cell_Idle (viz. Obr. 3.4, Tab. 3.27).



Obr. 3.4: RRC komunikace při přihlášení do sítě

Tab. 3.27: Stavů a procedury při přihlášení do sítě

Stav	RRC Stav	Procedura
1.-2.	Cell_Idle	Sestavení rádiového spojení
3.	Cell_DCH	Potvrzení o sestavení rádiového spojení
4.	Cell_DCH	Měření
5.-6.	Cell_DCH	Nastavení zabezpečení
7.	Cell_DCH	Ukončení rádiového spojení
8.	Cell_Idle	Potvrzení o ukončení rádiového spojení

3.2.2 Hlasový hovor

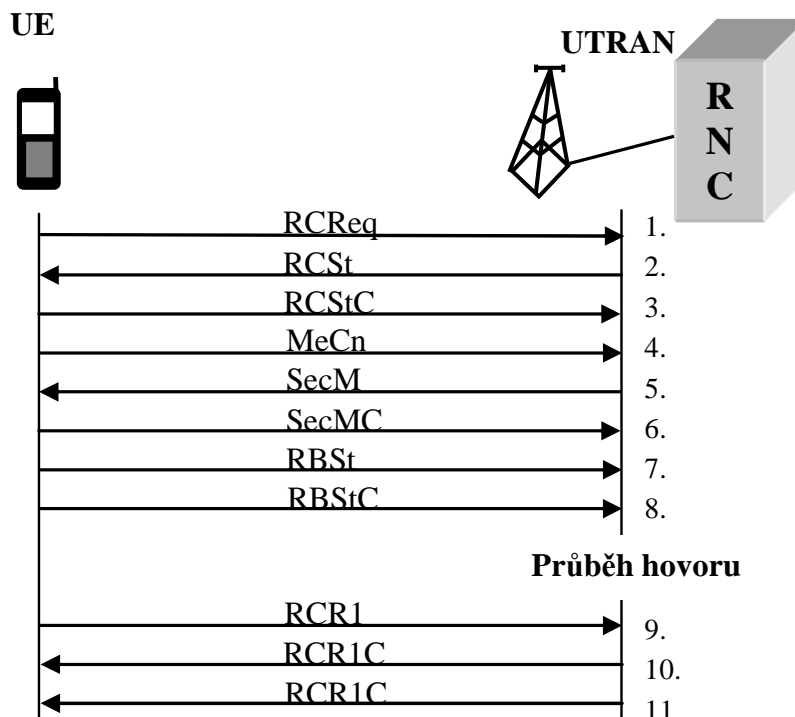
V případě hlasového hovoru je aktivní CS doména (Circuit Switched), je navázáno RRC spojení, UE využívá RRC stav Cell_DCH (viz kapitola 2.3.2.1.5).

RRC Global status	
Global state	cell-dch
Active Domain CS:	1
Active Domain PS:	0
Drop cause	NORMALRELEASE
Ciphering CS	1
Ciphering PS	0

Obr. 3.5: RRC stav při hlasovém hovoru

RRC zprávy během hovoru jsou naznačeny v Obr. 3.6. Pro vytvoření RRC spojení nejdříve UE žádá zprávou RCRReq, je mu odpovězeno zprávou RCSt, kterou UE potvrzuje zprávou RCStC a přechází do stavu Cell_DCH, čímž je sestaveno RRC spojení. Po měření (MeCn) a nastavení zabezpečení (zprávy SecM a SecMC) je sestaven rádiový nosič pro přenos hovoru. V tomto okamžiku probíhá hlasový hovor, během něhož probíhá měření rádiového prostředí a aktualizace sady buněk, popřípadě handover (viz kap. 3.2.4).

Pro ukončení hlasového hovoru se mobilní stanice odhlásí z CS domény zprávou RCR1, na kterou dostane potvrzení RCR1C pro každou z aktivních buněk, tím dojde k uvolnění rádiových zdrojů a přechodu do stavu Cell_Idle.



Obr. 3.6: RRC komunikace při hlasovém hovoru

Tab. 3.28: Stavy a procedury při hlasovém hovoru

Stav	RRC Stav	Procedura
1.-2.	Idle_PCH	Sestavení rádiového spojení
3.	Cell_DCH	Potvrzení o sestavení rádiového spojení
4.	Cell_DCH	Měření
5.-6.	Cell_DCH	Nastavení zabezpečení
7.-8.	Cell_DCH	Sestavení rádiového nosiče
9.	Cell_DCH	Ukončení rádiového spojení
10.-11.	Idle_PCH	Potvrzení o ukončení rádiového spojení

3.2.3 Řízení výkonu

Hodnota SIR_{min} značí minimální odstup signál-šum, který musí být zajištěn pro správné rozpoznání dat. Naopak SIR_{max} omezuje maximální odstup signál-šum pro zamezení rušení ostatních stanic. Když UE inicializuje hovor, nastaví vysílací výkon v závislosti na přijatém výkonu pilotního kanálu. Pilotní signál je specifický signál vysílaný v každé buňce s konstantním výkonem. Poskytuje hrubé měření ztrát signálu v daném prostředí mezi UE a Node B. Čím je silnější přijatý signál pilotního kanálu, tím může být nižší výkon vysílací. Změny radiového prostředí mohou způsobit, že cílová hodnota SIR nemusí vždy garantovat uspokojivou kvalitu, proto cílová SIR hodnota musí být řízena v závislosti na dosaženém BER či BLER. Pokud je četnost chyb příliš vysoká, je cílová SIR hodnota zvýšena, dokud není dosažena požadovaná četnost chyb. Zvyšování cílové hodnoty SIR v přijímači způsobuje zvýšení vysílacího výkonu ve vysílači, dokud se nedosáhne nová hodnota SIR_{target} .

Dedicated tx power info	
SIR minimum	44
SIR maximum	44
SIR current	44
Downlink increase	0
Downlink decrease	1500

Obr. 3.7: Řízení výkonu ve směru downlink

3.2.4 Handover

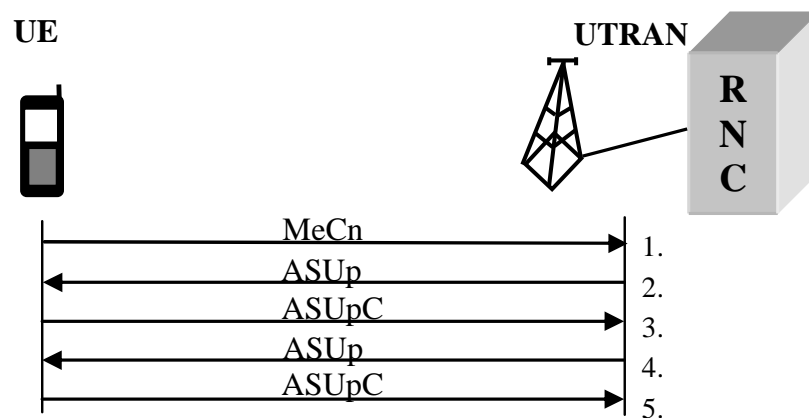
Při navázaném RRC spojení (hlasovém hovoru) dochází během tohoto spojení při pohybu účastníka v síti k vícecestnému spojení UE s UTRAN (viz kap. 2.4.7). Tento stav se nazývá soft handover. Následující obrázek ukazuje stav, kdy je UE současně připojen k více Node B, v tomto konkrétním případě ke dvěma. K aktualizaci aktivní sady mobilní stanice

dochází při splnění kritérií uvedených v kapitole 2.4.8.4. Aktivní sada má omezenou velikost, současně může UE komunikovat

FDD neighbour cell info		FDD intra freq neigh					
Active cells	2	Stat	ID	Ec	Stat	ID	Ec
Intra cells	3	a	372	4	a	422	8
Inter 1 freq	0	Stat	ID	Ec	Stat	ID	Ec
Inter 2 freq	0	m	411	20	m	216	22
Detected cells	0	Stat	ID	Ec	Stat	ID	Ec
Intra cells undetect	27	m	281	25	m	406	25
Inter1 freq undet	0	Stat	ID	Ec	Stat	ID	Ec
Inter2 freq undet	0	-	0	0	-	0	0

Obr. 3.8: Přehled buněk zapojených do soft handoveru

Mobilní stanice zasílá informace o měření rádiového prostředí ve zprávě MeCn. (Measurement Control), kdy posílá naměřené hodnoty RNC. RNC tyto hodnoty dále vyhodnotí a posílá příkaz k provedení aktualizace aktivní sady ASUp (Active Set Update). UE provede aktualizaci aktivní sady a jako potvrzení zasílá zprávu ASUpC (Active Set Update Complete).



Obr. 3.9: RRC komunikace při hlasovém hovoru

Tab. 3.29: Stav, procedury a buňky při soft handoveru

Stav	RRC Stav	Procedura	Seznam buněk
1.	Cell_DCH	Měření	a: 422, m: 372
2.	Cell_DCH	Příkaz k aktualizaci aktivní sady	a: 422, m: 372
3.	Cell_DCH	Potvrzení o aktualizaci aktivní sady	a: 372, a: 422
4.	Cell_DCH	Příkaz k aktualizaci aktivní sady	a: 372, a: 422
5.	Cell_DCH	Potvrzení o aktualizaci aktivní sady	a: 372, m: 422

3.2.5 Reselekce buňky

K resekci buněk dochází na území, kde signál měřené buňky dosáhne lepších parametrů, než signál aktuální buňky. Následující tabulka znázorňuje měření buněk mobilní stanicí, kdy stanice měří parametry signálu jako RSSI a Ec/No (viz kap. 2.4.8.5).

Vidíme, že k resekci buňky dochází, když hodnota Ec/No měřené buňky (ID 422) se stane lepší (vyšší), než buňky aktuální (ID 372).

Tab. 3.30: Reselekce buněk

RSSI (dBm)		Ec/No (dB)		Seznam buněk
372	422	372	422	
-62,4	-	22,5	18,5	a:372, m: 422
-	-59,8	17,5	23	a:422, m: 372

3.2.6 Datové spojení

Průběh datového spojení je rozdělen do několika částí. Nejprve dojde k navázání RRC spojení v PS (Packet Switched) doméně (viz Obr. 3.10), které je aktivní po celou dobu datového spojení. Poté dochází k sestavení rádiového nosiče. Během datového spojení dochází ke změnám RRC stavů v závislosti na aktivitě uživatele, nevyužívá se tedy pouze stav Cell_DCH, ale i stavy Cell_FACH a Cell_PCH.

Sestavení datového spojení sestává z žádosti a sestavení RRC spojení, měření, nastavení zabezpečení a sestavení rádiového nosiče (1.-10.).

Pokud nejsou žádná data přenášena, nebo pokud dojde k dokončení přenosu dat, je z důvodu úspory prostředků zrušen rádiový nosič, UE tedy přejde do stavu Cell_FACH (viz 2.3.2.1.5) (13.-14.).

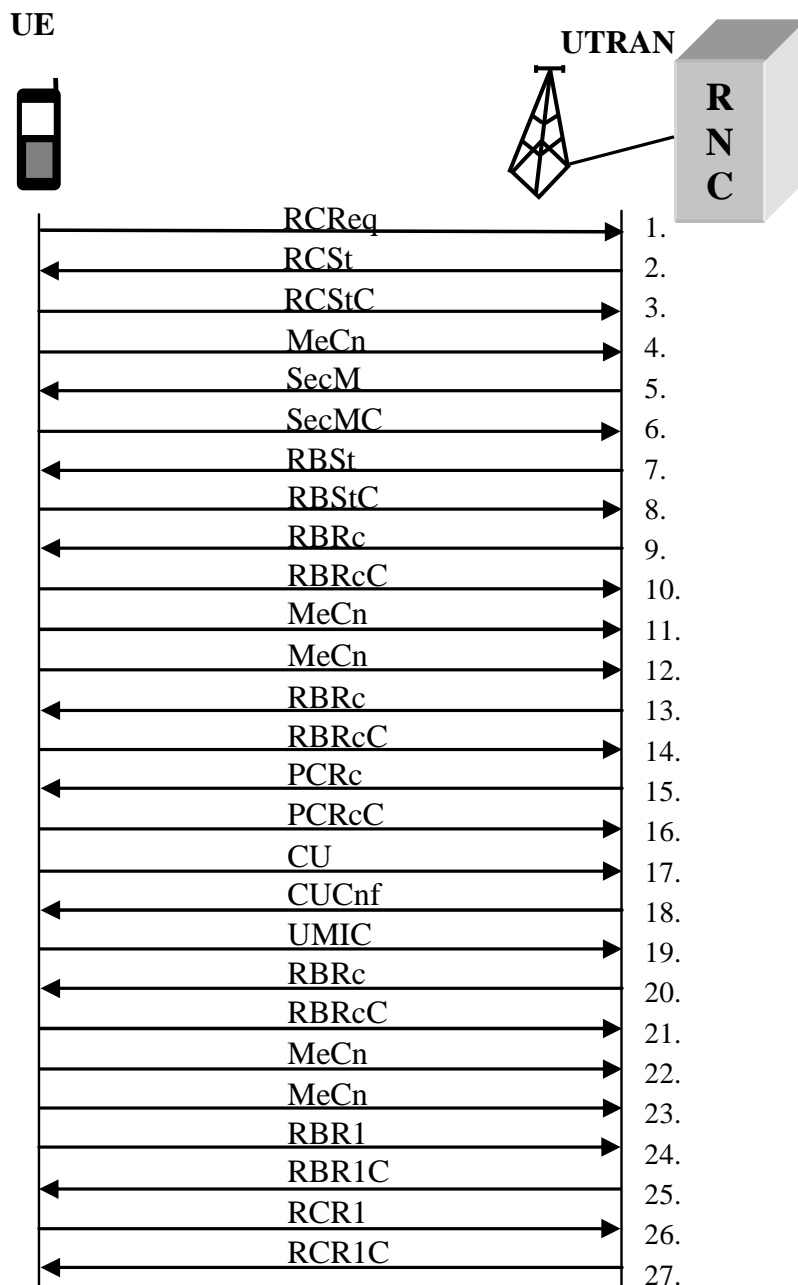
V případě požadavku k přenosu dat je nutné provést rekonfiguraci fyzického kanálu, při kterém dojde k aktualizaci aktivní buňky a rekonfiguraci rádiového nosiče pro opětovný přechod do stavu Cell_DCH a tím umožnění přenosu dat (15.-21.).

Ukončení datového spojení je vyvoláno procedurou ukončení rádiového nosiče a přechodem do stavu Cell_FACH a následně ukončením RRC spojení a přechodem do stavu Idle_PCH (24.-27.).

```
RRC Global status

Global state      cell-pch
Active Domain CS: 0
Active Domain PS: 1
Drop cause       NORMALRELEAS
Ciphering CS     0
Ciphering PS     1
```

Obr. 3.10: Aktivní doména při datovém spojení



Obr. 3.11: RRC komunikace při datovém spojení

Tab. 3.31: Stavy a procedury při datovém spojení

Stav	RRC Stav	Procedura
1.-2.	Idle_PCH	Sestavení rádiového spojení
3.	Cell_FACH	Potvrzení o sestavení rádiového spojení
4.	Cell_FACH	Měření
5.-6.	Cell_FACH	Nastavení zabezpečení
7.-8.	Cell_FACH	Sestavení rádiového nosiče

9.	Cell_FACH	Rekonfigurace rádiového nosiče
10.	Cell_DCH	Potvrzení o rekonfiguraci rádiového nosiče
11.-12.	Cell_DCH	Měření
13.	Cell_DCH	Rekonfigurace rádiového nosiče
14.	Cell_FACH	Potvrzení o rekonfiguraci rádiového nosiče
15.	Cell_FACH	Rekonfigurace fyzického kanálu
16.	Cell_PCH	Potvrzení o rekonfiguraci fyzického kanálu
17.-18.	Cell_FACH	Aktualizace buňky
19.	Cell_FACH	Potvrzení o změně buňky
20.	Cell_FACH	Rekonfigurace rádiového nosiče
21.	Cell_DCH	Potvrzení o rekonfiguraci rádiového nosiče
22.-23.	Cell_DCH	Měření
24.	Cell_DCH	Uvolnění rádiového nosiče
25.	Cell_FACH	Potvrzení o uvolnění rádiového nosiče
26.	Cell_FACH	Ukončení rádiového spojení
27.	Idle_PCH	Potvrzení o ukončení rádiového spojení

3.2.7 Měření parametrů sítě v různých podmínkách

3.2.7.1 Měření odlišných buněk sítě

Pro měření odlišných buněk jsou použity 2 buňky této sítě, každá z nich umístěna v jiném prostředí a určena pro jinou zátěž. Buňka A je situována na místě s velkým předpokládaným počtem účastníků na daném prostoru (náměstí), buňka B je umístěna na okraji města a pokrývá mnohem větší území, než buňka A.

Měření probíhalo ve stejných vzdálenostech UE od jednotlivých Node B, cca 200m. Při navázaném hovoru byly hodnoty RSSI buňky A -42,6 dBm, buňky B -47,8 dBm.

FDD frequency summary		FDD frequency summary	
Freq	INTRA RSSI	Freq	INTRA RSSI
10564	426	10564	478
Freq	INTRA RSSI	Freq	INTRA RSSI
0	0	0	0
Freq	INTRA RSSI	Freq	INTRA RSSI
0	0	0	0

Obr. 3.12: Hodnoty RSSI při navázaném hovoru

Při měření řízení výkonu v downlinku bylo zjištěno, že v buňce umístěné v hodně exponovaném prostředí je potřeba udržovat vyšší odstup signál-šum, než v buňce v prostředí méně zatíženém (viz Obr. 3.13).

Dedicated tx power info		Dedicated tx power info	
SIR minimum	44	SIR minimum	21
SIR maximum	44	SIR maximum	21
SIR current	44	SIR current	21
Downlink increase	0	Downlink increase	486
Downlink decrease	1500	Downlink decrease	1014

Obr. 3.13: Porovnání hodnot SIR v odlišných buňkách

3.2.7.2 Měření parametrů datového spojení

Pro měření parametrů datového spojení jsou použity sítě dvou operátorů (O2 a Vodafone) a cílem je zjistit rozdíly mezi těmito dvěma sítěmi při datovém spojení. Opět jsou použity buňky umístěné v jiném prostředí a určeny pro jinou zátěž. Buňka A a C je situována na místě s velkým předpokládaným počtem účastníků na daném prostoru (náměstí), buňka B a D je umístěna na okraji města.

Měření probíhalo připojením k FTP serveru přes mobilní terminál, kdy tento byl připojen k PC přes USB rozhraní. Server FTP byl do internetu připojen stabilní kabelovou přípojkou o dostatečné přenosové kapacitě (30/2 Mbit/s). Při měření rychlosti přenosu dat byl použit vždy tentýž soubor o velikosti 5MB. Měření probíhalo v různých denních dobách, kdy účelem bylo zjistit vliv počtu připojených uživatelů na parametry datového připojení, tedy v době od 10-15h (vysoká zátěž, Node B je více vytížena a obsluhuje více stanic) a naopak v době od 0-3h (nízká zátěž). Naměřené hodnoty jsou průměrem několika měření prováděných totožně.

Tab. 3.32: Parametry datového spojení

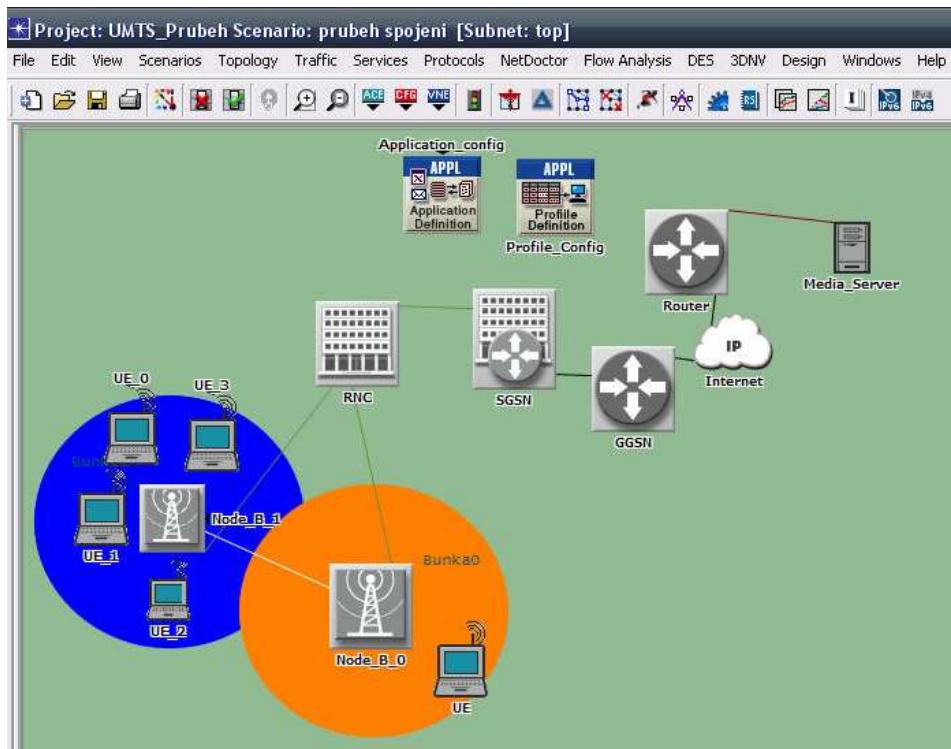
Buňka	Operátor	Zátěž	Download [kb/s]	Upload [kb/s]	Odezva [ms]
A	O2	Vysoká	720	336	265
		Nízká	721	338	250
B	O2	Vysoká	760	348	251
		Nízká	784	352	238
C	Vodafone	Vysoká	816	328	100
		Nízká	920	336	97
D	Vodafone	Vysoká	794	325	102
		Nízká	800	328	98

Z naměřených hodnot vyplývá, že v určitém měřítku má počet připojených uživatelů k měřené Node B vliv na datový přenos, tedy na rychlost přenosu dat a odezvu, ovšem tyto rozdíly nejsou nijak velké, to svědčí o správném dimenzování buňky. Také vidíme drobné rozdíly mezi malými (A a C) a velkými (B a D) buňkami, které ale nejsou nijak markantní. Rozdíly mezi sítěmi jednotlivých operátorů jsou znát hlavně ve velikosti odezvy, 3G síť

společnosti Vodafone je síť postavenou na nejnovějších verzích zařízení firmy Huawei s plnou podporu HSPA.

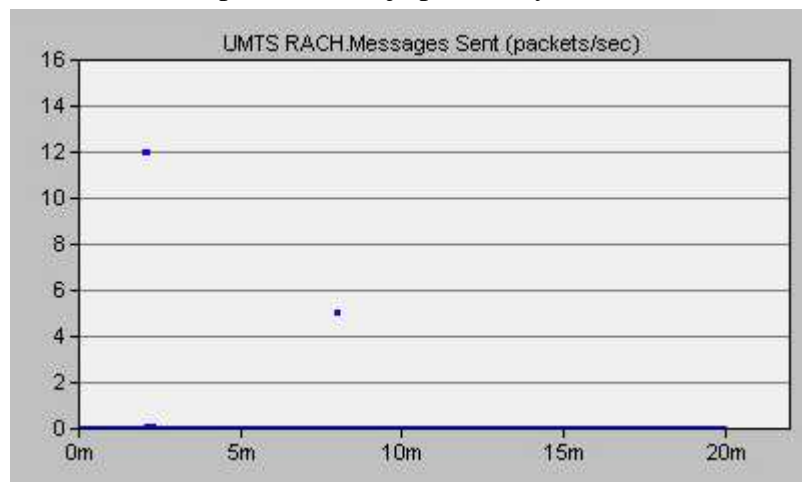
3.3 SIMULACE MODELU REÁLNÉ SÍTĚ

V simulačním prostředí Opnet Modeler byl vytvořen jednoduchý model sítě UMTS pro simulaci spojení UE se sítí UMTS, kdy byly pozorovány procedury vstupu UE do buňky a aktualizace aktivní sady během handoveru mezi dvěma stanicemi Node B, kdy UE přechází z oblasti pokryté jednou Node B do oblasti pokryté jinou Node B.



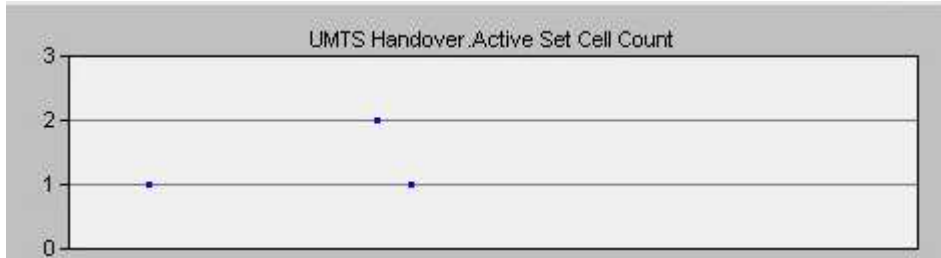
Obr. 3.14: Model sítě UMTS

Na následujícím grafu vidíme přenos zprávy RACH při vstupu UE do jednotlivých buněk během handoveru. Tato zpráva obsahuje parametry viz 3.1.3.1.



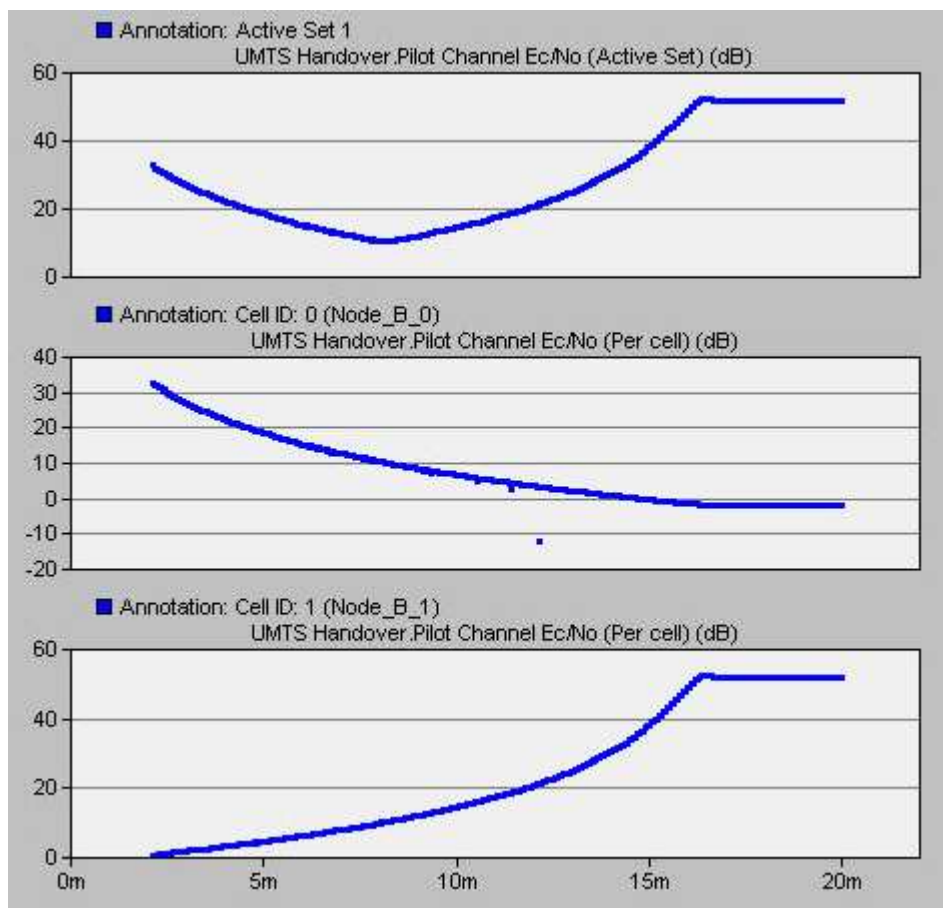
Obr. 3.15: Přenos zpráv RACH při vstupu do buněk

Během procedury handover dochází k aktualizaci aktivní sady mobilního terminálu na základě daných parametrů (viz kap.2.4.8.4). V grafu vidíme změny v aktivní sadě během této procedury.



Obr. 3.16: Aktivní sada UE během handoveru

Během této simulace UE přijímá na kanálu CPICH sílu signálu tohoto kanálu od obou Node B v dosahu, následující grafy znázorňují průběh těchto signálů při pohybu UE v síti, první graf znázorňuje průběh těchto signálů od buněk v aktivní sadě mobilní stanice.



Obr. 3.17: Průběhy signálů na kanálu CPICH

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo prostudovat a popsat parametry a protokoly rádiového rozhraní sítě UMTS, zjistit měření jednotlivé parametry sítě . Studium rádiového rozhraní UTRAN

V první části jsem popsal základní vlastnosti moderních mobilních sítí hlavní rozdíly oproti předchozím generacím a naznačil budoucnost mobilní komunikace.

Dále jsem uvedl základní popis a vlastnosti sítě UMTS a zaměřil jsem se na protokoly rádiového rozhraní této sítě, na procedury potřebné ke správnému fungování mobilního terminálu a na parametry ovlivňující chování terminálu v síti, což je předmětem této práce. Protože specifikace rádiovému rozhraní sítě UMTS je velmi obsáhlá, byly vybrány procedury, které jsou při běžném používání mobilního terminálu nejobvyklejší a které také jsou možné zjistit měření v další části mé práce.

Třetí část práce jsem věnoval praktickému monitorování sítě UMTS a prakticky vyzkoušel možnost měření sítě pomocí aplikace pro mobilní terminál a možnosti této aplikace a popsal jsem jednotlivé parametry, které se dají pomocí této aplikace zjistit. V dalších kapitolách jsem uvedl výsledky měření sítě a procedur, které UE během připojení k síti a pohybu v ní vykonává, jako přihlášení do sítě, reselectce buňky, hlasové a datové spojení a handover. Všechny podklady pro výsledky v této práci uvedené v tabulkách jsou dostupné na datovém CD přiloženém k této práci. Pro měření sítě jsem také využil možnosti otestování sítě dvou různých operátorů a měřil rozdíly mezi buňkami určenými pro jiné prostředí. V poslední kapitole buňky byla především pro účely laboratorní úlohy provedena simulace modelu UMTS sítě a zobrazeny některé výsledky této simulace pro lepší představu funkce některých procedur.

Laboratorní úloha, která je součástí této práce, poskytuje studentovi základní znalosti o rádiovém rozhraní sítě UMTS, o používaných protokolech, o možnostech měření parametrů této sítě a o možnostech simulace chování mobilního terminálu v síti.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LAIHO, J., WACKER, A., NOVOSAD, T. *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*. England : J. Wiley & Sons, 2002. 662 s. ISBN 0-471-48653-1
- [2] KREHER, R., RÜDERBUSCH, T. *UMTS signaling*. England: J.Wiley & Sons, 2007. 574 s. ISBN 978-0-470-06533-4.
- [3] VALENTA, V. *Soft Handover Optimization in UMTS Networks*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2006. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vishwas Lakkundi, Ph.D.
- [4] *3GPP TR 23.009 - Handover Procedures*. www.3gpp.org, 2003.
- [5] MOLNÁR, J. *UMTS* [online]. [2003] [cit. 2009-11-9]. Dostupný z WWW: <www.umts.wz.cz>.
- [6] POSSI, P. *UMTS World* [online]. c1999-2003 [cit. 2007-11-25]. Dostupný z WWW: <www.umtsworld.com>.
- [7] RICHTER, T. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. [2002] [cit. 2009-11-25]. Dostupný z WWW: < www.tomas.richttr.cz/mobil/>.
- [8] LTE: Long Term Evolution [online]. c2009 [cit. 2009-11-9]. Dostupný z WWW: < http://www.3gamericas.org >.
- [9] CHEN, Y. *Soft Handover Issues in Radio Resource Management for 3G WCDMA Networks*. [s.l.], 2003. 147 s. Department of Electronic Engineering, Queen Mary, University of London. Vedoucí dizertační práce Prof. Laurie Cuthbert.
- [10] PIKHART, Z. *Mobilní sítě. Access server* [online]. 2004 [cit. 2007-11-22].
- [11] *Wikipedia: GSM* [online]. c2001-2007 [cit. 2007-11-16]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/GSM>.
- [12] PERÉZ - ROMERO, J., SALLENTO, O., AGUSTÍ, R.. *Radio Resource Management Strategies in UMTS*. [s.l.] : [s.n.], 2005. 345 s. ISBN-13 978-0-470.
- [13] 3GPP TS 25.331-900: *RRC Protocol Specification*. www.3gpp.org, 2009.
- [14] 3GPP TS 25.401-900: *UTRAN Overall Description*. www.3gpp.org, 2009.
- [15] 3GPP TS 25.922-710: *Radio resource management strategies*. www.3gpp.org, 2007.
- [16] JOKINEN, Jari. *Field Test Display Specification*. [s.l.] : [s.n.], 2004. 257 s.

- [17] HOLMA, H., TOSKALA, A. *WCDMA for UMTS*. England : J. Wiley & Sons, 2004. 450 s. ISBN 0-470-87096-6
- [18] LTE-Advanced [online]. c2009 [cit. 2010-3-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.3gamericas.org>>.
- [19] 3GPP TS 25.211-900: Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels. www.3gpp.org, 2009.
- [20] 3GPP TS 25.213-900: Spreading and modulation. www.3gpp.org, 2009.
- [21] 3GPP TS 25.304-870: User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode. www.3gpp.org, 2009.
- [22] Castro, J. P. *The UMTS Network and Radio Access Technology*. England : J. Wiley & Sons, 2001. 450 s. ISBN 0-471-81375-3

SEZNAM ZKRATEK

3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
AAL2	ATM Application Layer 2
AC	Access Class
ALCAP	Access Link Control Application Protocol
AM	Acknowledged Mode
ARQ	Automatic Repeat ReQuest
AS	Access Stratum
ASC	Access Service Class
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BER	Bit Error Rate
BLER	Block Error Rate
BMC	Broadcast/Multicast Control Protocol
BSS	Base Station System
CBS	Cell Broadcast Service
CCCH	Common Control Channel
CCH	Control Channel
CCPCH	Common Control Physical Channel
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CRC	Cyclic Redundancy Check
CTCH	Common Traffic Channel
DCA	Dynamic Channel Allocation
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated Channel
DL	Downlink
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DSCH	Downlink Shared Channel
DTCH	Dedicated Traffic Channel
EDGE	Enhanced Data for GSM Evolution
FACH	Forward Access Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency modulation
FTD	Field Test Display
FTP	File Transfer Protocol
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communications
GTP	GPRS Tunnel Protocol
HS	High Speed
HSCSD	Hi-Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Download Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution

MAC	Medium Access Control
MIB	Master Information Block
MSC	Mobile Services Switching Center
NAS	Non Access Stratum
NBAP	Node B Application Protocol
PCCH	Paging Control Channel
PCPCH	Physical Random Access Channel
P-CPICH	Primary Common Pilot Channel
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDP	Packet Data Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PDU	Protocol Data Unit
PLMN	Public Land Mobile Network
PRACH	Physical Random Access Channel
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RACH	Random Access Channel
RANAP	Radio Access Network Application Part
RB	Radio Bearer
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
RNTI	Radio Network Temporary Identifier
RRC	Radio Resource Control
RSCP	Received Signal Code Power
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RTP	Real Time Protocol
RX	Received
SCH	Synchronisation Channel
SDU	Service Data Unit
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIB	System Information Block
SIM	Subscriber Identity Module
SIR	Signal to Interference Ratio
SRB	Signaling Radio Bearer
SRNC	Serving Radio Network Controller
STTD	Space Time Transit Diversity
TCH	Transport Channel
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TM	Transparent Mode
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
TPC	Transmit Power Control
TX	Transmitted
UE	User Equipment
UIM	User Identification Module
UL	Uplink
UM	Unacknowledged Mode
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
URA	UTRAN Registration Area
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VCI	Virtual Channel Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access

PŘÍLOHA – LABORATORNÍ ÚLOHA

Laboratorní úloha – Studium parametrů a protokolů rádiového rozhraní sítě UMTS, simulace UMTS sítě

Cíl

Získání základních znalostí o rádiovém rozhraní sítě UMTS, seznámení se s aplikací FTD pro monitorování parametrů UMTS sítě, použití této aplikace pro získání parametrů sítě a zjištění řídicích zpráv při navázaném hlasovém a datovém spojení.

Požadavky na pracoviště

Mobilní telefon Nokia 6630 s nainstalovanou aplikací FTD, datový kabel, PC s programem Nokia PC Suite a Opnet Modeler.

Úkoly

1. Prostudujte teoretický úvod a zaměřte se na protokoly a procedury rádiového rozhraní
2. Seznamte se s programem FTD, jeho skladbou a ovládáním.
3. Pomocí FTD nastavte přístroj, aby pracoval jen v módu UMTS (WCDMA).
4. Projděte si jednotlivé obrazovky programu, nejdůležitější jsou skupiny 41 a 46.
5. Podle nalezeného ID aktivní buňky zjistěte na internetové adrese www.gsmweb.cz polohu základnové stanice Node B.
6. Zjistěte počet a sílu signálu dalších buněk v dosahu.
7. Při navázaném hlasovém hovoru sledujte změnu RRC stavu, zjistěte aktivní doménu při tomto spojení a sledujte výměnu RRC zpráv při navazování, průběhu a ukončení hovoru.
8. Navažte datové spojení PC přes mobilní terminál a otestujte přenosové rychlosti a odezvy a sledujte parametry tohoto spojení.
9. V simulačním prostředí Opnet Modeler otevřete nadefinovaný scénář „UMTS_prubeh“, vytvořte trajektorii pro mobilní stanici, zobrazte si změnu aktivní sady mobilní stanice a průběh přijatého výkonu mobilní stanice během spojení.

Teoretický úvod

System UMTS je systém používaný především v Evropě a byl navržen jako nástupce systému GSM. Síť UMTS odpovídá standardu IMT – 2000 a je možno ji realizovat na jádře již stávajících sítí GSM (mimo výjimky). Mezi sítěmi UMTS a GSM musí být zajištěna kompatibilita z důvodu postupného přecházení účastníků na novou technologii (tudíž obě sítě musí být schopny fungovat současně).

O standardizaci UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) se stará organizace 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) založená v prosinci 1998.

Pro sítě třetí generace byla zvolena technologie CDMA (Code Division Multiple Access), což je přístupová metoda kódového dělení. Konkrétně UMTS používá její variantu W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), což je širokopásmová přístupová metoda, která využívá větší šířku pásma (i s postranními pásmy 5MHz). V CDMA neexistuje žádné časové dělení a všichni uživatelé používají přidělené frekvenční pásmo po celou dobu. Jednotliví uživatelé se mezi sebou rozlišují pomocí přiděleného kódu, jeho násobením s původní informací vznikne širokopásmový signál (dojde k rozprostření do spektra).

Protokoly používané v UMTS jsou rozděleny do dvou rozdílných vrstev, a to tzv. „Non Access Stratum“ (NAS) a „Access Stratum“ (AS). NAS protokoly zajišťují přenos informací mezi UE a CN pro sestavení komunikace mezi koncovými body, například spojení s jiným UE. Obsahem mohou být uživatelské nebo řídicí informace obsahující potřebnou signalizaci pro sestavení a ukončení služby, nebo vykonání jiných specifických funkcí mobilní sítě. V každém případě jsou tyto informace nezávislé na nižších vrstvách protokolové struktury a také na prvcích přístupové sítě, kterými tyto informace procházejí na cestě mezi UE a CN. Příklady NAS protokolů v kontrolní rovině jsou protokoly Connection Management (CM) a Session Management (SM), které jsou odpovědné za řízení spojení s UE, a také protokoly Mobility Management (MM) a GPRS Mobility Management (GMM), zodpovědné za funkce v síťové vrstvě. V uživatelské rovině, hlavní NAS protokol v síťové vrstvě pro paketově přepínané služby je protokol IP, narozdíl od okruhově spínaných služeb, kde informace přicházejí přímo od zdroje bez nutnosti síťového protokolu.

Funkce je obdobná jako ve všech systémech založených na OSI modelu, tedy vrstva přijme data (SDU – Service Data Units) od nadřazené vrstvy, přidá definovaná záhlaví a řídicí data a doručí tyto data jako PDU (Protocol Data Units) nižší vrstvě. Na nejnižší vrstvě jsou data přeneseny vytvořeným kanálem na fyzické vrstvě (např. na určité frekvenci, v určitém timeslotu).

Protokol MAC (Medium Access Control)

MAC protokol je odpovědný za mapování logických kanálů na příslušné transportní kanály. Tento protokol zabezpečuje efektivní použití transportních kanálů, podle momentálního zatížení vybere vhodný transportní formát (TF) a přiřadí Transport Format Set (TFS) pro každý aktivní transportní kanál.

Transportní formát je vybrán podle Transport Format Combination Set (TFCS), která je přiřazena RRC protokolem a vytvořena při kontrole přijetí v RNC, když je sestaven nebo změněn RAB.

Funkce MAC vrstvy zahrnuje zajišťování priority datům spojení, zajišťování priority mezi UE (dynamické plánování a identifikace UE na transportních kanálech).

MAC vrstva zajišťuje multiplexování a demultiplexování RLC datových jednotek do a z transportních bloků (TB) doručených do a z fyzické vrstvy na fyzických kanálech a multiplexování a demultiplexování RLC datových jednotek do a ze sad transportních bloků (TBS) doručených do a z fyzické vrstvy na dedikovaných kanálech.

MAC vrstva je také zodpovědná za měření objemu dat na logických kanálech a oznamování tohoto RRC, na základě tohoto se rozhodne o provedení přepínání transportních kanálů; dynamické přepínání typů transportních kanálů (uskutečnění přepínání mezi společnými a dedikovanými transportními kanály), šifrování (pro transparentní RLC mód) a výběr třídy přístupové služby (ASC) pro přenos společných kanálů v uplinku.

Služby přenosu dat MAC vrstvy jsou poskytovány na logických kanálech. Typ přenesených informací definuje každý typ logického kanálu. Jsou rozděleny do 2 skupin: řídicí kanály (CCH) a přenosové (provozní) kanály (TCH). CCH jsou používány pro přenos informací řídicí roviny, TCH jsou používány pro přenos informací uživatelské roviny. [1]

Protokol RLC (Radio Link Control)

RLC protokol poskytuje segmentaci/sestavování datových jednotek a služby opětovného přenosu pro uživatelská (Radio Bearer) a řídicí data (Signaling Radio Bearer). Každá RLC instance je konfigurována RRC k funkci v jednom ze tří módů, a to *transparentní mód* (TM) (není přidáno žádné záhlaví), *nepotvrzovaný mód* (UM) (není použit žádný protokol pro opětovný přenos a doručení dat není garantováno) a *potvrzovaný mód* (AM) (je pro odstranění chyb použit mechanismus Automatic Repeat reQuest (ARQ)). Pro všechny RLC módy je na fyzické vrstvě použita detekce chyb CRC (Cyclic Redundancy Check) a výsledek CRC je doručen RLC současně s aktuálními daty.

Jedna z nejdůležitějších funkcí RLC protokolu je segmentace a sestavování různě dlouhých datových jednotek do/z menších RLC datových jednotek; korekce chyb (zabezpečena opětovným přenosem dat, nesekvenční doručení jednotek vyšších vrstev, řízení toku dat, detekce a oprava chyb, zahazování dat, šifrování a udržování definovaných kvalit služeb (QoS) na definované úrovni [1].

Protokol PDCP (Packet Data Convergence Protocol)

Tento protokol existuje pouze v uživatelské rovině a jen pro paketově spínané služby. Jeho hlavní funkce jsou komprese nadbytečných řídicích informací (např. TCP/IP a RTP/UDP/IP záhlaví) při vysílání a dekomprese při přijímání, přenos uživatelských dat jako příjem dat od NAS a jejich přeposílání příslušným RLC entitám, a multiplexování jednotlivých rádiových spojení (RB) RLC entitě [1].

Protokol BMC (Broadcast Multicast Control)

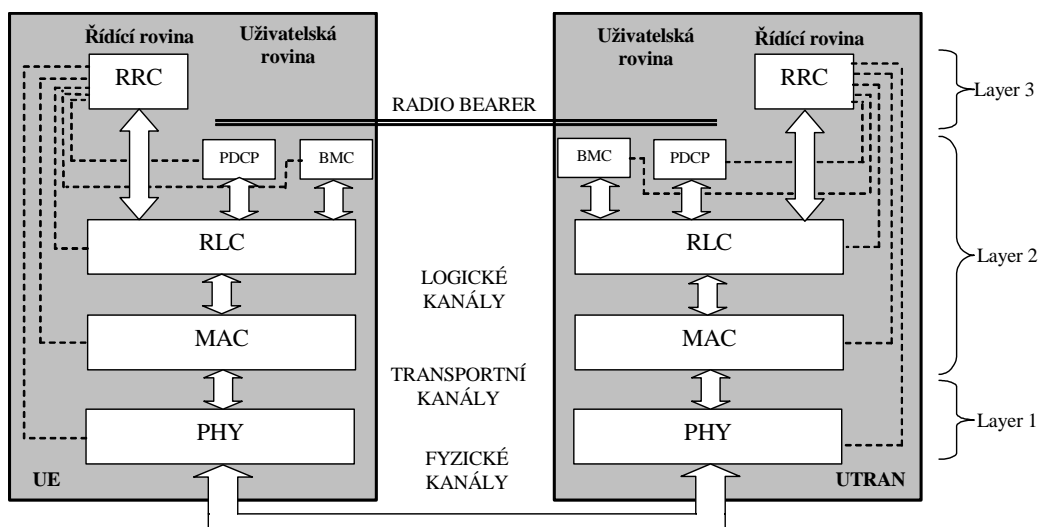
BMC protokol stejně jako PDCP existuje pouze v uživatelské rovině. Tento protokol poskytuje broadcastovou/multicastovou přenosovou službu na rádiovém rozhraní pro běžná uživatelská data v TM nebo UM módu. Využívá UM RLC a CTCH kanál namapovaný na kanál FACH. CTCH kanál musí být nakonfigurovaný a transportní kanál použitý sítí musí být indikovaný všem UE skrz RRC SIB (System Information Broadcast) na BCH kanále.

Protokol RRC (Radio Resource Control)

Protokol RRC řídí konfiguraci všech nižších protokolů (PDCP, BMC, RLC, MAC).

Signalizace RRC má na starosti signalizaci (řídicí rovina) mezi UE a UTRAN. Její funkce zahrnují:

- Vysílání informací poskytnutých AS a NAS (core network) všem UE.
- Sestavení, znovusestavení, udržování a ukončení RRC spojení mezi UE a UTRAN. Sestavení RRC spojení zahrnuje případnou resekci buňky, řízení přístupu a sestavení L2 signalizačního spojení.
- Na žádost vyšších vrstev může sestavit, rekonfigurovat a ukončit rádiové spojení (RB) v uživatelské rovině.
- Přiřazení, rekonfiguraci a odebrání rádiových zdrojů pro RRC spojení. Má na starosti přiřazení rádiových zdrojů (kódy, CPCH kanály) potřebných pro RRC spojení v řídicí i uživatelské rovině.
- Provádí vyhodnocení, rozhodnutí a vykonání operací mobility vztažených k RRC spojení během sestaveného RRC spojení, např. handover, příprava inter-system handoveru, resekci buněk a aktualizací procedury buňky, založené na měření mobilní stanice.
- Může vysílat pagingové informace ze sítě k vybranému UE na základě žádosti vyšších vrstev na straně sítě.
- Provádí směrování datových jednotek vyšších vrstev odpovídající vyšší entitě na straně UE, na straně UTRAN odpovídající RANAP (Radio Access Network Application Part).
- Zajišťuje požadovanou QoS pro rádiové spojení (RB), např. alokací dostatečných rádiových zdrojů.
- RRC protokol řídí měření prováděná UE ve smyslu co měřit, kdy měřit a jak podat hlášení. Provádí také oznamování o UE měření do sítě.
- Řízení výkonu Outer Loop Power Control. RRC řídí nastavení cílové hodnoty pro Closed Loop Power Control. Viz
- Řízení šifrování mezi UE a UTRAN
- Pomalou DCA (Dynamic Channel Allocation) pro dynamickou alokaci rádiových zdrojů.
- Rozhodnutí o rádiových zdrojích na DCH v uplinku.
- Počáteční selekci buňky a její resekci na základě měření.
- Ochranu integrity RRC zpráv, přidává kód MAC-1 do zpráv s citlivým obsahem
- Počáteční konfiguraci CBS (Cell Broadcast Service), konfiguraci BMC podvrstvy
- Řízení časování



Obr. 1: Vrstvový model protokolů rádiového rozhraní

Po zapnutí UE zůstane v **Idle** módu, dokud není do sítě odeslán požadavek na sestavení RRC spojení. V Idle módu je spojení s UE na všech AS vrstvách uzavřeno. V tomto módu je UE identifikováno NAS entitami jako IMSI (International Mobile Subscriber Identity), TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) a Packet-TMSI. RNC nemá žádnou informaci o konkrétním UE a může adresovat pouze např. všechny UE v buňce.

UTRA **Connected mód** je aktivní, když je navázáno RRC spojení. RRC spojení je definováno jako obousměrné spojení typu bod-bod mezi odpovídajícími entitami v UE a UTRAN. UE má buď žádné nebo jedno RRC spojení. Procedura sestavení RRC spojení může být zahájena pouze UE, kdy UE pošle zprávu s žádostí o sestavení tohoto spojení do UTRAN. Tato událost je spuštěna buď pagingovou žádostí ze sítě nebo žádostí vyšších vrstev v UE. Když je RRC spojení sestaveno, UE je přiřazena RNTI (Radio Network Temporary Identity) k identifikaci na kanálech CTCH. Když síť ukončí RRC spojení, signalizační spojení a všechna rádiová spojení (RB) mezi UE a UTRAN jsou ukončena. [1][2]

RRC stavy jsou:

- **Cell_DCH.** V tomto stavu je UE alokován kanál DPCH, event. i kanál PDSCH. Do tohoto stavu se může dostat z Idle módu nebo sestavením kanálu DTCH ze stavu Cell_FACH. V tomto stavu UE provádí měření podle zprávy RRC MEASUREMENT CONTROL. Přejod ze stavu Cell_DCH do stavu Cell_FACH může způsobit např. vypršení časovače neaktivity.
- **Cell_FACH.** V tomto stavu není UE alokován kanál DPCH, namísto toho jsou pro přenos signalizace a malého množství uživatelských dat použity kanály RACH a FACH. UE naslouchá na kanále BCH a po vypršení časovače na FACH se dostane do podstavu Cell_PCH.
- **Cell_PCH.** V tomto stavu je lokace UE známa SRNC jen na úrovni buňky a UE může být dosaženo pouze pomocí pagingové zprávy. Tento stav dovoluje nízkou spotřebu energie. UE může použít nesouvislý příjem (DRX), přečíst BCH k získání platných systémových informací a přejít do stavu Cell_FACH při obdržení pagingové zprávy ze sítě nebo při uplinkovém přístupu (např. zahájeným UE pro resekci buňky).
- **URA_PCH.** Tento stav je podobný stavu Cell_PCH, až na to, že UE vykoná proceduru updatu buňky pouze když se změní URA (UTRAN Registration Area). Jedna buňka může patřit jedné nebo více URA aby se předešlo ping-pong efektu. Když množství updatů buňky překročí určitou mez, UE může přejít do stavu URA_PCH. Kanál DCCH v tomto stavu nemůže být použit a jakákoliv aktivita může být vyvolána sítí pouze pomocí pagingové zprávy na kanále PCCH nebo při uplinkovém přístupu UE použitím kanálu RACH.

Chování mobilního terminálu v síti

Chování mobilního terminálu v síti není jednoduše popsatelné, provádí se mnoho operací spojených s různými procedurami při jeho běžném používání uživatelem. Základní procedury mobilního terminálu a sítě pro zajištění správného chování a funkce mobilního terminálu v síti UMTS jsou:

- **Synchronizace UE se sítí**, kdy je nutné provést synchronizaci UE s Node B
- **Registrace UE a reSelekcce buňky**
- **Řízení výkonu** pro zabezpečení co nejmenší spotřeby mobilního terminálu a snížení možnosti rušení
- **RRC signalizace**, například navázání hlasového hovoru, datového spojení
- **Procedury pro zajištění mobility** pro zajištění udržení spojení při změně stavu sítě
- **Měření rádiového rozhraní** za účelem efektivního využití rádiových zdrojů a zajištění mobility

Měření rádiového rozhraní sítě UMTS

Aplikace FTD nijak neomezuje používání mobilního terminálu, v případě používání jiné aplikace zůstává spuštěna na pozadí. Uživatelské rozhraní aplikace FTD má 3 módy, tzv. Execute mód (vykonávací), Data display mód (zobrazovací) a Help mód (nápověda). Vykonávací mód dovoluje například vymazání čítačů, uzamknutí k NodeB atd. Zobrazovací mód je základní mód, ve kterém můžeme vidět hodnoty jednotlivých parametrů. Program je rozdělen do několika skupin, z nichž každá obsahuje několik podskupin. Mezi skupinami se dá přepínat pomocí horizontálních navigačních kláves a mezi podskupinami pomocí vertikálních (viz Obr. 2) [3]. Následující kapitoly znázorňují jednotlivé displeje programu FTD pro měření sítě UMTS včetně jejich náhledů s konkrétními hodnotami.



Obr. 2: Aplikace FTD

Skupina 41: WCDMA

Displej 41.01: RACH zpráva

Tento displej znázorňuje detailní informace o posledním přenosu RACH zprávy.

Po zapnutí UE v UMTS buňce začne provádět následující kroky (tzv. Initial UE Radio Access).

Nejdřív je ovšem potřeba na straně UE zvolit vhodný vysílací výkon, aby nerušilo ostatní uživatele v síti. Node B vysílá na kanále BCCH tzv. výkonový krok ΔP , který UE přečte a UE vysílá po RACH/CPCH kanále RACH zprávu a čeká na potvrzení ACK. Pokud toto potvrzení nedostane než uplyne doba T_{CPCH} , sníží UE svůj vysílací výkon se kterým odeslal RACH zprávu P_{tr} .

$$P_{tr}(i+1) = P_{tr}(i) + \Delta P$$

Pokud je potvrzení přijato, pokračuje UE v následujících krocích:

Krok 1: Synchronizace slotu

Během této procedury UE hledá primární synchronizační kód kanálu SCH (Synchronization channel), který není skramblován, k synchronizaci slotu buňky. Primární synchronizační kód bývá stejný pro všechny buňky. Po jeho přečtení je UE časově synchronizováno s Node B.

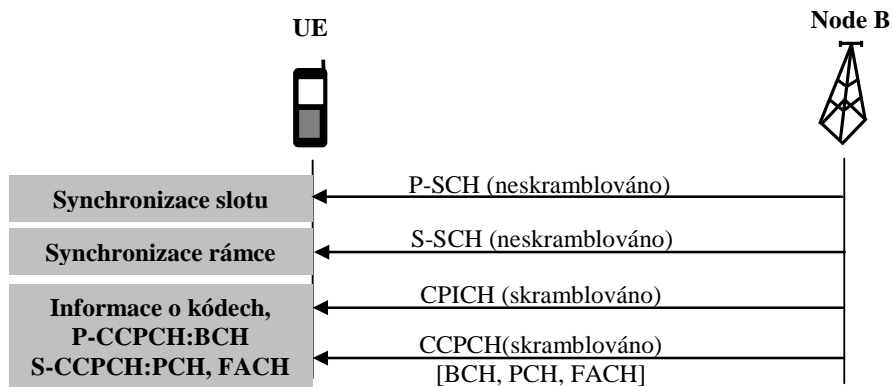
Krok 2: Rámcová synchronizace a identifikace kódové skupiny

Na základě špiček detekovaných pro primární synchronizační kód UE hledá největší špičku sekundárního SCH kódu (který také není skramblován) pro nalezení rámcové synchronizace a identifikaci kódové skupiny buňky. To je provedeno korelací přijatého signálu se všemi možnými sekundárními synchronizačními kódovými sekvencemi a identifikací maximální hodnoty shody.

Krok 3: Identifikace skramblovacího kódu

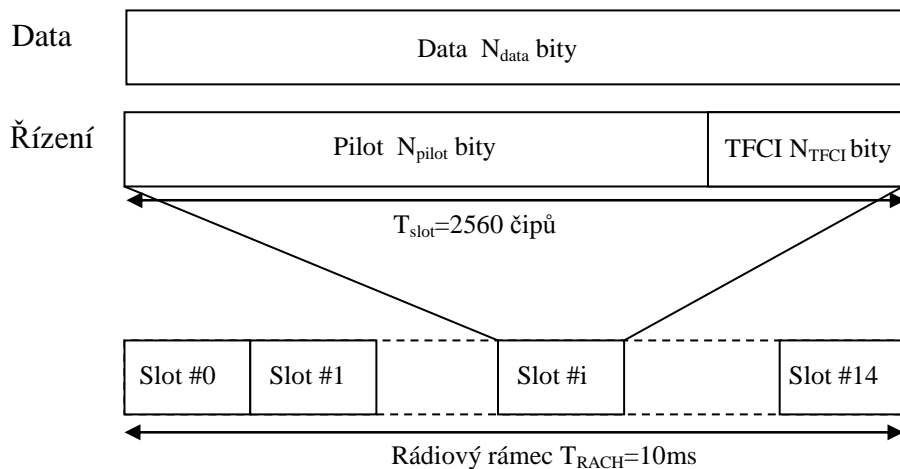
Během posledního kroku zjistí UE přesný primární skramblovací kód použitý nalezenou buňkou. Primární skramblovací kód je typicky identifikován pomocí symbolové korelace kanálu CPICH se všemi kódy kromě kódové skupiny identifikované ve druhém kroku. Poté co byl primární skramblovací kód identifikován, může být detekován kanál P-CCPCH který používá stejný skramblovací kód jako CPICH a UE může získávat informace na kanálu BCH a tím být schopno přijímat pagingové zprávy a umožní kanálu S-CCPCH přenášet PCH a FACH. Systémové informace přenášené BCH budou indikovat sekundární skramblovací kód aktuální Node B pro pozdější přenos dat na DCH. Pokud UE dostane informaci, které skramblovací kódy má hledat, kroky 2 a 3 mohou být zjednodušeny.

Cílem selekce buňky je najít vhodnou buňku co nejrychleji. Ke zrychlení tohoto procesu po zapnutí UE nebo po návratu z oblasti mimo pokrytí začne UE hledat buňku pomocí informací uložených z předešlého kontaktu se sítí..



Obr. 3: Průběh synchronizace UE s Node B

RACH zpráva je rozdělena do 15-ti slotů, každý délky 2560 čipů. Každý slot sestává ze dvou částí, datové a řídicí. K datové části je namapován transportní kanál RACH a řídicí část nese řídicí informace. Tyto části jsou vysílány paralelně. Zpráva (10ms) sestává z jedné části zprávy rádiového rámce. Datová část obsahuje $10 \cdot 2^k$ bitů, kde $k=0,1,2,3$. To odpovídá rozprostírajícímu faktoru. [2]



Obr. 4: Struktura rádiového rámce RACH zprávy

Tab. 1: Displej 41.01

<pre> +++++ + RACH MSG TX profile + + Initial TxbPower aaa + + Po bbb Pp_m ccc SFN ddd + + A_slot ee SubChan fff + + Lenght g Sign_m hhhh + + Sign_rnd iiii Pre lll + + D_CH_G k C_CH_G j + + Message m data n + + Message tx power ooo + +++++ </pre>	<pre> RACH MSG TX profile Initial TxbPower -28 PO 2 Pp_m 2 SFN 8E4 A_slot 10 SubChan FFF Lenght 2 Sign_m F Sign_rnd 1860 Pre 9 D_CH_G F C_CH_G C Message 1 data 1 Msg tx power -6 </pre>
--	--

Tab. 2: Popis hodnot displeje 41.01

Zkratka	Parametr	Význam	Pozn.
aaa	Initial TxbPower	Počáteční přenosový výkon [dBm]	S tímto výkonem vstupovalo UE do buňky.
bbb	Po	Parametr ΔP [dBm]	Výkonový krok
ccc	Pp_m	Parametr Pp_m [dBm]	Vysílací výkon řídicí části RACH zprávy
ddd	SFN	System frame number (HEX)	Parametr pro časování přenosu dat
ee	A_slot	První použitý access slot	Tento slot využilo UE při vstupu do buňky.
fff	SubChan	Maska subkanálu (HEX)	Pro poskytnutí priorit spojení.[1]
g	Lenght	Délka RACH zprávy	1: 10ms 2: 20ms
hhh	Sign_m	Značka masky subkanálu	Značka délky 16 čipů [1]
iiii	Sign_rnd	Náhodná značka	K náhodnému výběru access slotu [1]
lll	Pre	Počet přenesených záhlaví (HEX)	
k	D_CH_G	Zisk v datovém kanále (HEX)	
j	C_CH_G	Zisk v řídicím kanále (HEX)	
m	Message	Rozhodnutí o přenosu zprávy	0: Zpráva nebyla přenesena 1: Zpráva přenesena 2: Přenos zprávy zamítnut
n	data	Rozprostírací faktor	0:SF256 1:SF128 2:SF64 3:SF32
ooo	Msg tx power	Hodnota výkonu při přenosu zprávy [dBm]	

Displej 41.02: Stav řízení výkonu v uplinku

Na tomto displeji je zobrazen přehled o řízení výkonu na aktuálním vyhrazeném uplinkovém kanále.

Tab. 3: Displej 41.02

<pre> +++++ + Dedicated tx power info + + Tx min/max aaa bbb + + Tx current ccc + + Algo e step f SSDT g + + Tx loop h DPCCH i + + Comp mode j sync k + + PhCh min l PhCh max m + + PhCh average nnnnn + + Ul+ ooooo Ul- ppppp + +++++ </pre>	<pre> Dedicated tx power info Tx min/max -38 -28 Tx current -37 Algo 1 step 1 SSDT 0 Tx loop 0 DPCCH 0 Comp mode 0 sync 0 PhCh min 0 PhCh max 3 PhCh average 129 Ul+ 749 Ul- 751 </pre>
---	---

Tab. 4: Popis hodnot displeje 41.02


Parametr	Význam	Pozn.
Tx min/max	Minimální / maximální vysílaný výkon [dBm]	
Tx current	Aktuální vysílací výkon [dBm]	
Algo	Aktuální algoritmus řízení výkonu	1: algoritmus 1 2: algoritmus 2
step	Parametr Δ_{TPC} [dBm]	Velikost výkonového kroku pro řízení výkonu
SSDT	Technika diverzitního příjmu	1: není aktivní 2: je aktivní
Tx loop	Řízení vysílacího výkonu uzavřenou smyčkou	0: není aktivní 1: mód 1 2: mód 2
DPCCH	Formát DPCCH rámce	hodnoty 1-5
Comp mode	Použití kompresního módu	0: Kompresní mód nepoužit 1: Kompresní mód použit (během přenosu dat UE měří i na jiné f)
sync	Stav Out of sync synchronizace	0: Out of sync neaktivní 1: Out of sync aktivní (vypíná vysílač UE při nízké kvalitě kanálu DPCCH)
PhCh min	Minimální bitová rychlost v PhCH použitá pro uplink rámců	Rozsah 1-6: $2^{(\text{PhCh min} - 1)} * 150$ Rozsah 8-12: $(\text{PhCh min} - 6) * 9600$
PhCh max	Maximální bitová rychlost v PhCH použitá pro uplink rámců	Rozsah 1-6: $2^{(\text{PhCh max} - 1)} * 150$ Rozsah 8-12: $(\text{PhCh max} - 6) * 9600$
PhCh average	Průměrná bitová rychlost v PhCH použitá pro uplink rámců	(0-57600)
Ul+	Vysílací výkon po příkazu k jeho	

	zvýšení	
U1-	Snížený výkon po příkazu k jeho zvýšení	

Displej 41.03: Stav řízení výkonu v downlinku

Tento displej poskytuje přehled o řízení výkonu na aktuálním vyhrazeném downlinkovém kanále.

Tab. 5: Displej 41.03

<pre> +++++ + Dedicated tx power info + + + + SIR minimum aaaa + + SIR maximum bbbb + + SIR current cccc + + Downlink increase dddd + + Downlink decrease eeee + + + + + +++++ </pre>	
--	---

Tab. 6: Popis hodnot displeje 41.03

Zkratka	Parametr	Význam
aaaa	SIR minimum	SIR_{min} [dBm]
bbbb	SIR maximum	SIR_{max} [dBm]
cccc	SIR current	SIR_{act} [dBm]
dddd	Downlink increase	Počet příkazů ke snížení výkonu
eeee	Downlink decrease	Počet příkazů ke zvýšení výkonu

Hodnota SIR_{min} značí minimální odstup signál-šum, který musí být zajištěn pro správné rozpoznání dat v UE. Naopak SIR_{max} omezuje maximální odstup signál-šum pro zamezení rušení ostatních stanic.

Displej 41.10: Shrnutí okolních FDD buněk

Tento displej shrnuje počet buněk aktivní, monitorované, detekované a nedetekované sady na 3 frekvencích. Aktivní a detekovaná sada obsahuje pouze buňky na domácí frekvenci.

Tab. 7: Displej 41.10

+++++	FDD neighbour cell info +	FDD neighbour cell info
+ Active cells aa +	Active cells	1
+ Intra cells bb +	Intra cells	2
+ Inter 1 freq cc +	Inter 1 freq	0
+ Inter 2 freq dd +	Inter 2 freq	0
+ Detected cells ee +	Detected cells	0
+ Intra cells undetect ff +	Intra cells undetect	25
+ Inter 1 freq undet gg +	Inter1 freq undet	0
+ Inter 2 freq undet hh +	Inter2 freq undet	0
+++++		

Tab. 8: Popis hodnot displeje 41.10

Zkratka	Parametr	Význam
aa	Active cells	Počet buněk aktivní sady
bb	Intra cells	Počet buněk na intra frekvenci v monitorované sadě
cc	Inter 1 freq	Počet buněk na první inter frekvenci v monitorované sadě
dd	Inter 2 freq	Počet buněk na druhé inter frekvenci v monitorované sadě
ee	Detected cells	Počet buněk detekované sady
ff	Intra cells undetect	Počet netedekovaných buněk na intra frekvenci ze seznamu sousedních buněk
gg	Inter 1 freq undet	Počet netedekovaných buněk na první inter frekvenci ze seznamu sousedních buněk
hh	Inter 2 freq undet	Počet netedekovaných buněk na druhé inter frekvenci ze seznamu sousedních buněk

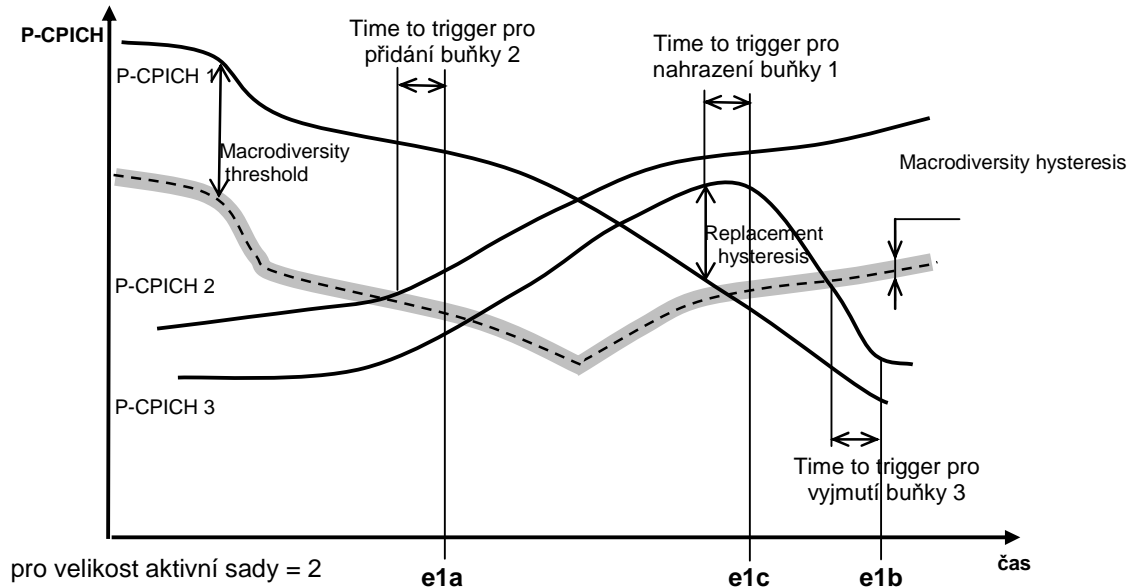
Měřené buňky jsou rozděleny do tří rozdílných sad:

- **Aktivní sada** buněk - Buňky aktivní sady jsou FDD buňky zapojené v softer a/nebo soft handoveru, tedy buňky patřící do aktivní sady UE.
- **Monitorovaná sada** buněk - Buňky monitorované sady nepatří do aktivní sady, ale jsou monitorovány podle seznamu sousedních buněk určených SRNC v řídicích informacích měření. UE může získat tento seznam buď použitím zprávy RRC Measurement Control zaslané na DCCH nebo přečtením SIB 11 nebo 12 z BCCH.
- **Detekovaná sada** buněk - Buňky detekované sady byly detekovány UE nehledě na to že nepatřily do aktivní sady nebo nebyly zmíněny v seznamu sousedních buněk. Měření těchto buněk je prováděno pouze když UE je ve stavu Cell-DCH.

O zařazení buňky do aktivní sady během navázaného RRC spojení je rozhodnuto podle následujících parametrů:

Oznamovací rozsah (reporting range/macrodiversity threshold) je omezené pásmo úrovně nejsilnější buňky aktivní sady. Obrázek naznačuje situaci kdy primární CPICH sousední buňky vstoupí a vystoupí z oznamovacího rozsahu a odpovídající zpráva o měření je poslána do SRNC.

Hystereze (macrodiversity hysteresis) je použita k definování hranice nejnižší úrovně oznamovacího rozsahu. Hystereze zaručuje, že jsou oznamovány pouze podstatné změny.



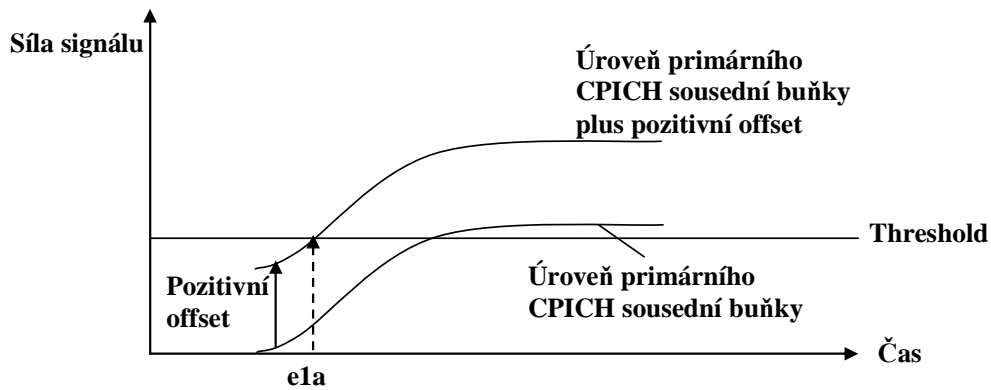
Obr. 5: Vliv parametrů hystereze, time to trigger a threshold

V uvedeném příkladu je znázorněno, kdy nastanou a jsou oznamovány události e1a, e1b a e1c pro buňky 1, 2 a 3.

- **e1a** – Primární CPICH vstoupí do oznamovacího rozsahu (reporting range)
- **e1b** – Primární CPICH opustí oznamovací rozsah (reporting range)
- **e1c** – Neaktivní primární CPICH se stane lepším než aktivní primární CPICH

Další parametr, který limituje oznamování RRC měření je tzv. „**time-to-trigger**“, který eliminuje oznamování měření způsobených krátkodobými špičkami úrovně signálu, tzn. pouze buňka, která zůstává silná po delší čas (definován hodnotou time-to-trigger) je přidána do aktivní sady spojení.

Dalším parametrem je „**offset**“, což je hodnota přidaná nebo odečtená od změřené úrovně signálu. Tato hodnota je různá pro každou měřenou buňku. Výsledkem je, že událost bude oznámena dříve nebo později než dosáhne prahové hodnoty dané buňky. To může být užitečné když operátor ví, že některá buňka by měla být zvýhodněna („positive offset“), i když zatím není dostatečně silná. V praxi se většinou používá negativní offset („negative offset“), protože je dobré odebrat buňky z aktivní sady už když mají sklon k velmi rychlé ztrátě signálu. Je také možné některé definované buňky z RRC měření úplně vyloučit.



Obr. 6: Vliv parametru Offset

Displej 41.11: Hodnocení FDD buněk

Na tomto displeji jsou zobrazeny 4 nejlépe hodnocené buňky. Hodnotící kritéria (RSCP, EcNo) jsou automaticky vybrány v závislosti na parametrech získaných ze sítě.

Tab. 9: Displej 41.11

<pre> +++++ + FDD ranking summary + + Freq1 BS1 System + + aaaaa eee i + + Freq2 BS2 System + + bbbbb fff j + + Freq3 BS3 System + + ccccc ggg k + + Freq4 BS4 System + + ddddd hhh l + +++++ </pre>	<pre> FDD ranking summary Freq1 BS1 System 10564 406 W Freq2 BS2 System 10564 422 w Freq3 BS3 System 10564 411 w Freq4 BS4 System 0 0 - </pre>
--	--

Tab. 10: Popis hodnot displeje 41.11

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaa	Freq1	Frekvenční kód buňky 1, frekvence=Freq1 / 5
bbbbbb	Freq2	Frekvenční kód buňky 2, frekvence=Freq2 / 5
cccccc	Freq3	Frekvenční kód buňky 3, frekvence=Freq3 / 5
dddddd	Freq4	Frekvenční kód buňky 4, frekvence=Freq4 / 5
eee-hhh	BS1-4	Cell ID
i, j, k, l	System	Označení buněk viz: “W“ – FDD domovská buňka, “w“ – FDD sousední buňka, “g“ – GSM sousední buňka

Displej 41.12: Shrnutí naměřených hodnot FDD

Zde jsou zobrazeny naměřené hodnoty RSSI na třech FDD frekvencích, ovšem většinou velká část buněk pracuje na stejné frekvenci, s výjimkou například mikrobuněk či menších buněk.

Tab. 11: Displej 41.12

<pre> +++++ + FDD frequency summary + + + + Freq INTRA RSSI + + aaaaa dddd + + Freq INTRA RSSI + + bbbbb eeee + + Freq INTRA RSSI + + cccc ffff + + + +++++ </pre>	<pre> FDD frequency summary Freq INTRA RSSI 10564 696 Freq INTRA RSSI 0 0 Freq INTRA RSSI 0 0 </pre>
--	---

Tab. 12: Popis hodnot displeje 41.12

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaa	Freq	Frekvenční kód domácí buňky, frekvence=Freq / 5
bbbbbb, cccc	Freq	Frekvenční kódy buněk na inter frekvenci, frekvence=Freq / 5
dddd	INTRA RSSI	Hodnota RSSI domácí buňky
eeee, ffff	INTRA RSSI	Hodnota RSSI první buňky na inter frekvenci

Displej 41.13: Shrnutí buněk na intra frekvenci

Tento displej zobrazuje status osmi nejlépe hodnocených sousedních buněk na domácí frekvenci. Ec je poměr Ec/No. Zjednodušeně lze říci, že je to odstup síly signálu dané buňky od součtu veškerého signálu v daném kanále, v dB. Mobilní stanice v klidu monitoruje jen výrazné sousední buňky. Během hovoru monitoruje všechny sousední buňky do odstupu 25 dB. Pro převod naměřené hodnoty na hodnotu v dB existuje převodní tabulka.

Tab. 13: Displej 41.13

<pre> +++++ + FDD intra freq neigh + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + a bbb cc d eee ff + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + g hhh ii j kkk ll + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + m nnn oo p qqq rr + + Stat ID Ec Stat ID Ec + + s ttt uu v xx yy + +++++ </pre>	<pre> FDD intra freq neigh Stat ID Ec Stat ID Ec m 406 9 a 422 9 Stat ID Ec Stat ID Ec m 411 15 - 0 0 Stat ID Ec Stat ID Ec - 0 0 - 0 0 Stat ID Ec Stat ID Ec - 0 0 - 0 0 </pre>
--	--

Tab. 14: Popis hodnot displeje 41.13

Zkratka	Parametr	Význam
a, d, g, j, m, p, s, v	Stat	Status buňky: “a“ – aktivní buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “m“ – monitorovaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “d“ – detekovaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “u“ – nedetekovaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “n“ – nerozeznaná buňka, STTD není aktivní na PCCPCH “A“ - aktivní buňka, STTD aktivní na PCCPCH “M“ - monitorovaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH “D“ - detekovaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH “U“ - nedetekovaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH “N“ - nerozeznaná buňka, STTD aktivní na PCCPCH
bbb, eee, hhh, kkk, qqq, ttt, xxx	ID	Node B ID
cc, ff, ii, ll, oo, rr, uu, yy	Ec	Hodnota Ec/No domácí buňky (viz 2.4.8.3)

STTD (Space Time Transit Diversity) je technika diverzifikačního příjmu, kdy UE přijímá signál z více (2) zdrojů, není ovšem použitelná na všech fyzických kanálech.

V případě intrafrekvenčního měření je UE zaslán seznam sousedních buněk který obsahuje primární skramblovací kódy buněk, které mají být měřeny a přiřadí Cell ID každé buňce v seznamu. Poté je definována kvantita měření parametrem Ec/No (Energy per Chip-to-Total Noise) což je poměr výkonu přijatého signálu (RSCP) na kanále P-CPICH a celkové

síly signálu nosné frekvence (RSSI - Received Signal Strength Indicator)(1). Buňka je vhodná, pokud splňuje kritéria pro selekci buňky (2). Tato kritéria jsou Squal (3) a Srxlev (4).

$$E_c / N_o = \frac{P - CPICH_{RSCP}}{UTRA_{Carrier\ RSSI}} \quad (1)$$

$$Srxlev > 0; Squal > 0 \quad (2)$$

$$Squal = Q_{qualmeas} - (Q_{qual\ min} + Q_{qual\ min\ Offset}) \quad (3)$$

$$Srxlev = Q_{rxlevmeas} - (Q_{rxlev\ min} + Q_{rxlev\ min\ Offset}) - P_{compensation} \quad (4)$$

Displej 41.17: Detailní informace o vybrané buňce

Na tomto displeji je možno zjistit detailní informace o vybrané buňce. Program umožňuje vybrat buňku zadáním frekvenčního kódu a Cell ID.

Tab. 15: Displej 41.17

<pre> +++++ + FDD detailed cell info + + + + Frequency code aaaaa + + RSSI bbbb BsID ccc + + R_Order dd BsStatus e + + Syncro f TxDiv g + + Frame timing hhhh + + SCPICH l EcNO jjj + + RSCP kkkk + +++++ </pre>	<pre> FDD detailed cell info Frequency code 0 RSSI 0 BsID 0 R_Order 0 BsStatus N Syncro - TxDiv - Frame timing 0 SCPICH - EcNO 0 RSCP 0 </pre>
--	---

Tab. 16: Popis hodnot displeje 41.17

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaa	Frequency code	Frekvenční kód vybrané buňky, frekvence= aaaaa / 5
bbbb	RSSI	RSSI vybrané buňky
ccc	BsID	Node B ID
dd	R_Order	Pořadí buňky
e	BsStatus	Status NodeB: A: patří do aktivní sady M: patří do monitorované sady D: patří do detekované sady U: nedetekovaná buňka N: Node B jiného operátora
f	Syncro	Status synchronizace: N: nesynchronizováno

		S – synchronizováno D – dekódovaný SFN
g	TxDiv	Status diverzitního příjmu: - – STTD není použit na PCCPCH s – STTD je použit na PCCPCH
hhhhh	Frame timing	Rámcové časování ve vybrané buňce v závislosti na systémových hodinách
l	SCPICH	Status měření na kanále S-CPICH - - S-CPICH nepoužit S- S-CPICH použit
jjj	EcNO	Ec/No
kkkk	RSCP	RSCP

Skupina 46: WCDMA RAN systém

Displej 46.01: RRC stav

Displej 46.01 znázorňuje aktuální RRC stav, doménu ve které je aktivní služba realizována a informace o šifrování.

Tab. 17: Displej 46.01

<pre> +++++ + RRC Global status + + + + Global state aaaaaaaa + + Active Domain CS: b + + Active Domain PS: c + + Drop cause dddddddddd + + Ciphering CS e + + Ciphering PS f + + + +++++ </pre>	<pre> RRC Global status . Global state cell-dch Active Domain CS: 1 Active Domain PS: 0 Drop cause NORMALRELEAS Ciphering CS 1 Ciphering PS 0 </pre>
--	--

Tab. 18: Popis hodnot displeje 46.01

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaaaa	Global state	RRC stav (2.3.2.1.5): OoZ, idle-pch, cell-dch, cell-fach, cell-pch, ura-pch
b	Active domain CS	RRC aktivní doména CS (Circuit Switched): 0/1
c	Active domain PS	RRC aktivní doména PS (Packet Switched): 0/1
ddddddd	Drop cause	Příčina ukončení posledního spojení
e	Ciphering CS	Status šifrování v CS doméně: 0 – vypnuto, 1 – zapnuto
f	Ciphering PS	Status šifrování v PS doméně: 0 – vypnuto, 1 – zapnuto

Displej 46.02: RRC zprávy

Tento displej znázorňuje posledních sedm RRC zpráv od MSC, přičemž nejstarší zpráva je vždy prázdná. Význam jednotlivých zpráv viz [2].

Tab. 19: Displej 46.02

<pre> +++++ + PEER message MSC + + PEER message ID aaaaa + + PEER message ID bbbbb + + PEER message ID ccccc + + PEER message ID ddddd + + PEER message ID eeeee + + PEER message ID fffff + v + PEER message ID hhhhh + +++++ </pre>	<pre> PEER message MSC PEER message ID MeCn PEER message ID PEER message ID ASUp PEER message ID MeCn PEER message ID ASUpC PEER message ID ASUp PEER message ID MeCn PEER message ID ASUpC </pre>
---	--

Tab. 20: Popis hodnot displeje 46.02

Zkratka	Parametr	Význam
a(5)...h(5)	PEER message ID	RRC zpráva

Význam jednotlivých RRC zpráv:

- ASUp** - Active Set Update (C - Complete) – příkaz k aktualizaci aktivní sady (C –aktulizace dokončena), přenášena po kanále DCCH nebo DCH.
- CU** - Cell Update (Cnf - Confirm) – iniciuje změnu buňky (Cnf – potvrzení o změně), přenášena po kanále RACH. Pouze pro RRC stavy Cell_FACH a Cell_PCH.
- MeCn** - Measurement Control – měření dosažitelných buněk pro rozhodování o aktivní sadě, přenášena po kanále DCCH
- PAGE** - Paging Type x – pagingová zpráva pro ohlášení např. příchozího hovoru, přenášena po kanále PCH ve stavu Cell_PCH
- PCRC** - Physical Channel Reconfiguration (C - Complete) – příkaz k rekonfiguraci fyzického kanálu (C - rekonfigurace dokončena), přenáší se na kanále DCCH
- RBRC** - Radio Bearer Reconfiguration (C - Complete) – rekonfigurace rádiového nosiče (C-dokončena), kanál DCCH
- RBRI** - Radio Bearer Release (C - Complete) – uvolnění rádiového nosiče (C - dokončena), kanál DCCH
- RBSr** - Radio Bearer Setup (C - Complete) – sestavení rádiového nosiče (C - dokončeno), kanál MCCH
- RCRI** - RRC Connection Release (C - Complete) – ukončení RRC spojení (C - dokončeno), kanál DCCH
- RCReq**- RRC Connection Request – žádost o sestavení RRC spojení, kanál CCCH/RACH
- RCSt** - RRC Connection Setup (C - Complete) – sestavení RRC spojení (C - dokončeno)
- SecM** - Security Mode Command (C - Complete) – zabezpečení spojení (C – dokončeno), kanál DCCH

Displej 46.03: Hodnoty RNTI

Zde jsou znázorněny aktuální hodnoty RNTI (Radio Network Temporary Identifier), USRNTI (UTRAN Service RNTI) – dočasný indikátor přiřazený UE při RRC spojení a C-RNTI (Cell-RNTI).

Tab. 21: Dispej 46.03

<pre> +++++ + RNTI values + + + + USRNC identity aaa + + USRNTI bbbbbb + + C-RNTI cccc + + + + + + + + + +++++ </pre>	<pre> RNTI values ----- USRNC identity ED09 USRNTI 111904 C-RNTI 0 </pre>
---	--

Tab. 22: Popis hodnot displeje 46.03

Zkratka	Parametr	Význam
aaa	USRNC identity	Identifikátor SRNC (0-FFFF)
bbbbbb	USRNTI	Identifikátor USRNTI (0-FFFF)
cccc	C-RNTI	Identifikátor C-RNTI (0-FFFF)

Displej 46.04: Schopnosti šifrování

Na tomto displeji je možno zobrazit a nastavit schopnosti šifrování – možné vstupy viz [3].

Tab. 23: Displej 46.04

<pre> +++++ + Cipherring capability + + + + UEA0 cipherring: + + aaaaaaaaa + + + + UEA1 cipherring: + + bbbbbbbb + + + + + +++++ </pre>	<pre> Cipherring capability ----- UEA0 cipherring: ENABLED UEA1 cipherring: ENABLED </pre>
---	---

Tab. 24: Popis hodnot displeje 46.04

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaaaa	UEA0 ciphering	Status šifrovacího algoritmu UEA0 – ENABLED / DISABLED
bbbbbbb	UEA1 ciphering	Status šifrovacího algoritmu UEA1 – ENABLED / DISABLED

Displej 46.05: Selekcce buňky

Zde jsou zobrazeny informace o aktuální síti PLMN (Public Land Mobile Network). V obrázku vidíme, že při tomto měření byla použita síť PLMN s identifikátorem 23002F, který využívá síť operátora O2 s frekvenčním kódem 10564.


Tab. 25: Displej 46.05

<pre> +++++ + Cell selection - 2 + + + + PLMN number aaaaaa + + Search type bbbbbb + + Trigger type cccccc + + PLMN frequency ddddd + + PLMN scramble code eee + + + + + +++++ </pre>	<pre> Cell selection - 2 PLMN number 23002F Search type Fr/Scr Trigger type NotApl PLMN frequency 10564 PLMN scamb code 422 </pre>
---	---

Tab. 25: Popis hodnot displeje 46.05

Zkratka	Parametr	Význam
aaaaaa	PLMN number	Označení PLMN (0-FFFFFF)
bbbbbb	Search type	Způsob, jakým byla buňka dané PLMN nalezena.
ccccc	Trigger type	Důvod spuštění hledání daného PLMN.
dddd	PLMN frequency	Frekvenční kód PLMN
eee	PLMN scramble code	Skramblovací kód aktuální buňky dané PLMN

Pracovní postup

1. Prostudujte teoretický úvod této úlohy.
2. Spusťte a seznamte se s aplikací FTD nainstalovanou v mobilním terminálu.
3. Nastavení uzamčení mobilního terminálu jen pro UMTS síť je možné provést na obrazovce 81.1 (Execute-vložit hodnotu 2)
4. Všechny obrazovky uvedené v teoretickém úvodu si projděte a pokuste se pochopit význam jednotlivých položek.
5. Na obrazovce 01.09 zjistíte požadované Cell ID pod položkou Cell Identifier.
6. Na patřičné obrazovce si prohlédněte další buňky a zhodnoťte, jakých hodnot by musely nabýt, aby došlo k reselekcí buňky.
7. Během navazování, průběhu a ukončení hlasového hovoru sledujte rádiové parametry jako aktivní doménu, SIR, RRC stav, RRC zprávy.
8. Připojte mobilní terminál k PC, pomocí programu Nokia PC Suite navažte datové spojení a otestujte přenosové rychlosti a odezvy do internetu (např. rychlost.cz), popřípadě připojením na zadaný FTP server. Opět sledujte změnu RRC stavu, zjistěte aktivní doménu při tomto spojení a sledujte výměnu RRC zpráv při navazování, průběhu a ukončení datového spojení.
9. Spusťte aplikaci Opnet Modeler.
 - Otevřete projekt UMTS_prubeh (*File – Open – C:\Uloha\Opnet\UMTS_Prubeh\UMTS_Prubeh.prj*).
 - Vytvořte trajektorii s názvem „UE_trajectory“ a přiřaďte ji mobilní stanici s názvem UE. (*Topology – Define Trajectory - zadat jméno trajektorie – Define Path –* nadefinujte ji tak, aby začínala co nejbližší Node_B_0 a procházela velmi blízko druhé Node_B_1 – po určení druhého (posledního bodu trajektorie klikněte na tlačítko *Complete*).
 - Přiřaďte trajektorii objektu UE - zobrazte atributy objektu UE (kliknutí na UE pravým tlačítkem myši – *Edit Attributes* a v položce *trajectory* vyberte Vámi definovanou trajektorii – *OK*), tím se nadefinovaná trajektorie zviditelní.
 - Vyberte sledované hodnoty – kliknutím pravým tlačítkem myši do volného prostoru vyberte položku *Choose Individual DES Statistics*, v rozbalovací položce *Global Statistics* vyberte položku *Ftp*, v položce *Node Statistics* vyberte položky *UMTS Handover* a *UMTS RACH*
 - Spusťte simulaci – pomocí tlačítka  na nástrojové liště – dobu trvání *Duration* nastavte na 20m, *Values per statistic* na 100 a *Update interval* na 50000 events, potvrďte tlačítkem *Apply* a spusťte tlačítkem *Run*.
 - Po skončení simulace kliknutím pravým tlačítkem myši do volného prostoru vyberte položku *View Results*, v rozbalovací položce *Global Statistics* vyberte položku *Ftp* a ověřte zda došlo k přenosu dat z FTP serveru. V položce *Object Statistics* vyberte objekt UE a v položce *UMTS Handover* si zobrazte stavy aktivní sady a úrovně pilotního kanálu obou Node B při pohybu mobilní stanice sítí. V položce *UMTS RACH* si v grafu *Acknowledgements Received* zobrazte, kdy byl uskutečněn přenos zprávy RACH.

Kontrolní otázky

- Jaká je hodnota [MHz] nosné frekvence měřené sítě?
- Jak se v síti UMTS mezi sebou odděluje signál jednotlivých mobilních stanic?
- Jaká doména je použita při hlasovém hovoru a při datovém spojení?
- Jaké RRC zprávy jsou uplatněny při vyvolání a ukončení hlasového hovoru? Dohleďte význam těchto zpráv v dokumentaci k programu FTD uložené na PC.
- Jaký význam má v síti UMTS procedura soft handover a jak ji můžeme monitorovat?
- Čím si vysvětlujete časové prodlevy mezi body aktualizací aktivní sady mobilní stanice viditelné v grafu Active Set Cell Count?
- Při jaké proceduře je vždy prováděn přenos RACH zprávy?

Shrnutí

V laboratorní úloze student získal základní znalosti o systému UMTS, především o protokolech a parametrech rádiového rozhraní, naučil se používat nástroj pro měření rádiového rozhraní sítě, ověřil teoretické předpoklady chování mobilního terminálu a provedl simulaci sítě UMTS v nástroji Opnet Modeler.

Literatura

- [1] LAIHO, J., WACKER, A., NOVOSAD, T. *Radio Network Planning and Optimization for UMTS*. England : J. Wiley & Sons, 2002. 662 s. ISBN 0-471-48653-1
- [2] POSSI, P. *UMTS World* [online]. c1999-2003 [cit. 2007-11-25]. Dostupný z WWW: <www.umtsworld.com>.
- [3] JOKINEN, Jari. *Field Test Display Specification*. [s.l.] : [s.n.], 2004. 257 s.