

Architektura, generace a uspořádání mobilních sítí

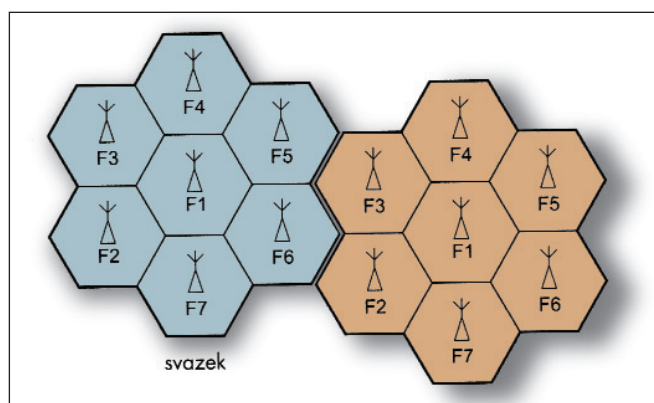
Vznik mobilních sítí

V sedmdesátých letech minulého století již probíhaly hovory v mobilních sítích duplexně a bez asistence spojovatelky, ale i tak bylo plno překážek. Hlavním problémem však byla kapacita sítí, pokrytí, a omezená mobilita terminálu. Terminály bylo možné používat jen v autě. Každá základnová stanice měla svou vlastní frekvenci, která byla pro danou síť jedinečná. Pokud se zákazník dostal mimo její dosah, byl hovor přerušen do okamžiku přihlášení k nové základnové stanici. Tento problém řeší systém buňkové (celulární) sítě, který byl v Bellových laboratořích vyvíjen už od šedesátých let minulého století. V dnešních mobilních sítích, jako jsou síť GSM (Global System for Mobile Communications) nebo UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), existuje podobný systém. Princip buňkového systému spočívá v rozdělení území na mnoho částí (buňek), mezi které se rozdělily dostupné frekvence tak, aby bylo možné použít stejnou frekvenci vícekrát. Aby nedocházelo k interferencím, bylo nutné dodržet určitou vzdálenost mezi buňkami, které používají stejnou frekvenci. Možné uspořádání buněk je zobrazeno na obr. 1. Bylo nutné vyřešit i plynulý přechod účastníků mezi jednotlivými buňkami tak, aby nedocházelo k rozpojení probíhajícího hovoru (tzv. handover), a určování polohy mobilní stanice v síti kvůli směrování hovoru. Teprve s příchodem mikroprocesoru mohl začít vývoj skutečných buňkových sítí. Celosvětově první buňkovou sítí se stala síť NMT (Nordic Mobile Telephony) v Saudské Arábii, která byla spuštěna již 1. září 1981. Jen o měsíc později došlo ke spuštění první mobilní buňkové sítí i v Evropě. Konkrétně šlo o síť švédského operátora Televerket (dnešní Telia). Severské státy se tak staly průkopníkem na poli mobilní komunikace v Evropě.

Sítě založené na standardu NMT se následně rozšířily také v Belgii, Nizozemí, Lucembursku a Rakousku. Ostatní evropské státy se ke standardu NMT nepřiklonily, i když možnosti celulárních sítí sledovaly. Státy západní Evropy se raději přiklonily k zadání vývoje vlastních kon-

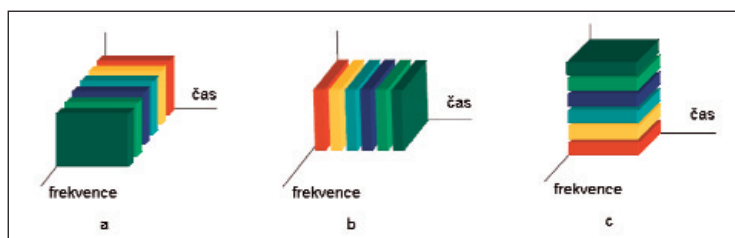
ceptů domácím dodavatelům. Na počátku roku 1990 tak existovalo celkem šest evropských standardů a jejich 11 modifikací, které nebyly navzájem kompatibilní. Výsledkem bylo, že například uživatelé skandinávské verze systému NMT 450 nemohli své mobilní telefony používat v síti NMT 450 v Nizozemí nebo Belgii, přestože jejich operátoři mezi sebou uzavřeli roamingové dohody.

I přes tuto vzájemnou nekompatibilitu jednotlivých sítí však vývoj trhu v této ob-



Obr. 1 Uspořádání buňkové sítě

lasti nestagnoval, ale naopak velmi rostl. Například již zmiňovaná švédská síť Televerket přilákala devětkrát více zákazníků, než byly neoptimističtější předpoklady. Mobilní síť založená na 450 MHz standardu proto začaly mít kapacitní problémy a bylo jasné, že přílivu nových zákazníků a jejich nárokům nebudou moci v brzké době dostát. Z těchto důvodů bylo logickým



Obr. 2 Metody přístupu (a – FDMA, b – TDMA, c – CDMA)

krokem hledání nového standardu, který by vyhovoval jednak svojí dostatečnou kapacitou a jednak vzájemnou kompatibilitou jednotlivých národních sítí. Začalo se tedy pracovat na standardu GSM, dnes nejrozšířenějším systému mobilních sítí.

Generace mobilních sítí

Celosvětový vývoj bezdrátových telekomunikačních systémů lze obecně rozdělit do

tří generací a mezigerací, které jsou popsány níže. Rozdíl mezi jednotlivými generacemi mobilních sítí je mimo jiné i v metodě přístupu. Souhrnně jsou všechny použité způsoby přístupu zobrazeny na obr. 2.

První variantou je přístup FDMA (obr. 2a). Ve schématech FDMA (Frequency Division Multiple Access) je celá volná frekvence rozdělena do pásem a každé z nich je přiřazeno určité stanici. Metoda FDMA je charakteristická souvislým přístupem k telefonu v daném frekvenčním pásmu. Mezi

stanicemi není zapotřebí žádné koordinace nebo synchronizace. Každá z nich může používat své vlastní pásmo bez vzájemného rušení. FDMA je ale neefektivní především v době nevyrovnaného zatížení. I když stanice zrovna nevysílá, její sdílená část spektra nemůže být použita žádnými jinými stanicemi. Systémy FDMA nejsou nijak flexibilní. To znamená, že přidání každé nové stanice vyžaduje modifikaci zařízení. Tato technika je sice výhodná kvůli své jednoduchosti, ale problémem je chybějící flexibilita v případě opětovné konfigurace, jako je přizpůsobení různým stupňům kapacity.

Ve schématech přístupu TDMA (Time Division Multiple Access, obr. 2b) je čas rozdělen do časových intervalů (dílků rámu). Každý časový interval je předpřijazěn stanici. V čase přiřazeného intervalu je každé stanici povoleno volně vysílat a všechny systémové prostředky jsou věnovány této stanici. Přiřazování časových intervalů se děje periodicky a každá taková perioda se nazývá cyklus nebo rámeček. Během jednoho cyklu může být stanici přiřazen jeden či více časových intervalů. Stanice musí být synchronizovány tak, aby každá stanice přesně věděla, kdy má vysílat. Hlavní nevýhodou TDMA přístupu je fakt, že každá stanice musí vždy mít fixní alokaci kanálového času, ať už má či nemá data k přenosu.

Techniky FDMA a TDMA neumožňují žádné časové překrývání přenosu jednotlivých stanic. Bezkonfliktní protokol, který povoluje tento překrývaný přenos, je v technice frekvenčního dělení FD (Frequency Division) i časového dělení TD (Time Division), CDMA na obr. 2c. Obecně je systém CDMA (Code Division Multiple

Access) označován jako komunikační systém, ve kterém mají mnohonásobní uživatelé přístup do stejného frekvenčního pásma.

Bezkonfliktní vlastnost CDMA je dosažena použitím kvazi-ortogonálních signálů v kombinaci se shodnými filtry v přijímajících stanicích. Využitím mnohonásobných ortogonálních signálů (informace, jež se mezi sebou neruší) se rozšíří pásmo potřebné pro přenos. V CDMA má každá stanice přiřazenou určitou kódovou sekvenci, která je modulovaná na nosiči. V systémech CDMA není tedy zapotřebí žádného plánování frekvencí. Výhodou této metody je jednoduchost operace, protože mezi mobilními stanicemi není zapotřebí synchronizace přenosu. CDMA nabízí i vlastnosti ochrany proti rušení z jiných systémů. Nevýhodou této metody je nízká propustnost.

První generace

V první generaci mobilních sítí jsou zastoupeny analogové systémy – např. již

děmu uživateli je zde přiřazena určitá část radiofrekvenčního spektra. FDMA povoluje jen jednoho uživatele na jeden kanál, který má tento uživatel přiřazen pouze pro sebe.

Druhá generace

Druhá generace mobilních sítí obsahuje již digitální systémy GSM 900, DCS 1800 (Digital Cellular System), PDC 1900 (Personal

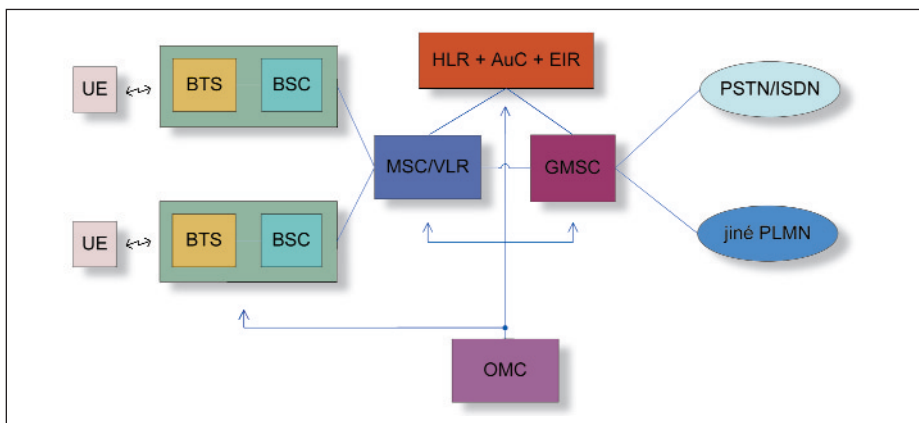
Tabulka 1 Standardizační organizace spolupracující ve sdružení 3GPP

ARIB	Association of Radio Industry and Businesses
CWTS	China Wireless Telecommunication Standard group
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
T1	Committee T1
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunications Technology Committee

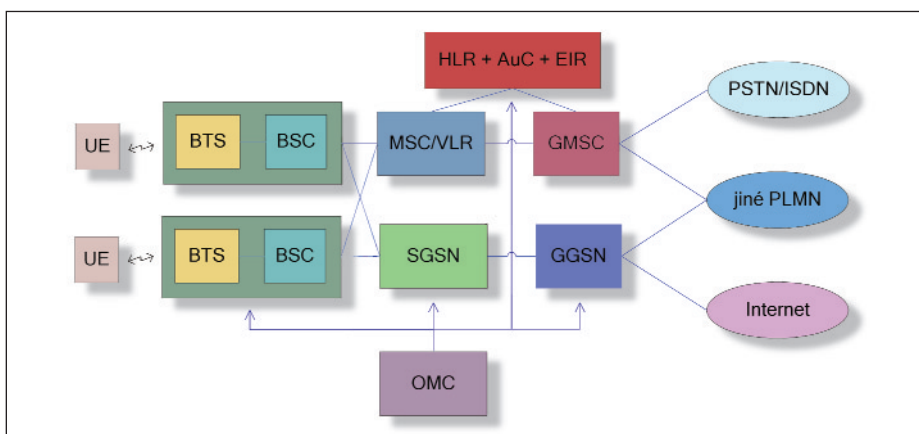
Digital Cellular), D-AMPS, Digital TDM. Jako přístupová metoda se u těchto systémů využívá technika přístupu TDMA. U metody TDMA je každému uživateli taktéž přiřazena určitá část frekvenčního spektra, ale

v této generaci systémy již digitální, stále ještě se orientují především na hlasové služby. S dalším rozvojem GSM se však začínají objevovat i další doplňující nehlasové služby pro koncové uživatele. Blokové schéma systému GSM je zobrazeno na obr. 3, kde znamená:

- UE (User Equipment) – uživatelský terminál,
- BTS (Base Transceiver Station) – základnová stanice,
- BSC (Base Station Controller) – kontrolér základnových stanic,
- MSC (Mobile Switching Centre) – mobilní radiotelefonní ústředna,
- GMSC (Gateway Mobile Switching Centre) – bránová mobilní radiotelefonní ústředna,
- HLR (Home Location Register) – domovský lokační registr,
- VLR (Visitor Location Register) – návštěvnický lokační registr,
- AuC (Authentication Centre) – autentifikační centrum,
- EIR (Equipment Identity Register) – registr mobilních stanic,
- PSTN (Public Switched Telephone Network) – veřejná telefonní síť (pevná),
- ISDN (Integrated Services Digital Network) – integrovaná síť digitálních služeb,
- PLMN (Public Land Mobile Network) – veřejná mobilní síť,
- OMC (Operations and Maintenance Center) – dohledové centrum.



Obr. 3 Blokové schéma systému GSM



Obr. 4 Blokové schéma systému GSM doplněného o technologii GPRS

zmíněný systém NMT (Nordic Mobile Telephony), dále americký systém AMPS (Advanced Mobile Phone System) či britský TACS (Total Access Communication System). Hlavním charakteristickým znakem těchto analogových systémů je jejich orientace primárně na hlasové služby. Jako přístupovou techniku využívají tyto sítě metodu frekvenčního dělení FDMA, kaž-

tentokrát mnohonásobní uživatelé sdílejí frekvenční nosič na bázi časových intervalů. Každý z uživatelů obměňuje jejich použití ve frekvenčním kanálu. Frekvenční dělení je sice také použito, ale tyto nosiče jsou dále ještě rozděleny do několika časových intervalů pro jeden frekvenční nosič (tři pro TDMA-AMPS, osm pro GSM Full Rate, šestnáct pro GSM Half Rate). Ačkoliv jsou

Generace 2.5 a 2.75

Právě rozšířením sítí druhé generace o bloky pro paketový přenos dat (resp. změnou modulace na rádiovém rozhraní) vznikly sítě, o kterých se mluví jako o mostu mezi sítěmi druhé generace, jež se orientují primárně na hlasové služby, a sítěmi třetí generace, které se orientují především na služby datové. Generací 2.5 se označuje mobilní síť doplněná o technologii GPRS (General Packet Radio Services) pro paketový přenos dat v síti. To znamená, že zde neexistuje souvislý kanál pro přenos a přijímání dat, ale data sítí putují po částech (paketech). Tím dochází k účelnému využití volného rádiového spektra a uživatelé mohou platit pouze za objem odeslaných a přijatých dat (nikoliv za dobu spojení jako u sítí druhé generace). Systém GSM rozšířený o GPRS je na obr. 4.

Dalším rozšířením je technologie EDGE (Enhanced Data For GSM Evolution), která změnou modulace umožní operátorům GSM sítí poskytnout jejich zákazníkům vysokorychlostní přenos dat a některé služby s ním spojené (generace 2.75).

Třetí generace

Třetí generace zahrnuje digitální systémy UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), CDMA 2000 (Code Division

Multiple Access), 3G. U této generace je hlavní důraz kladen na vysokorychlostní přenos dat a sítě třetí generace jsou tedy primárně vyvíjeny pro tento způsob využití. V Evropě se třetí generace sítí nazývá UMTS. V Americe se používá také název CDMA 2000. Rádiový přenos je opět digitální, s tím, že systém je oproti sítím druhé generace navržen pro daleko vyšší kapacitu.

Koncept UMTS

Standardním postupem bývá implementace sítí třetí generace do již existujících sítí druhé generace. Koncept využití mobilních sítí třetí generace předpokládá ideu jakéhosi oceánu GSM s malými UMTS ostrůvky uvnitř.

Pro hlasové služby se tedy alespoň v blízké budoucnosti bude stále používat převážně sítě GSM.

Pro sítě třetí generace byla zvolena technologie CDMA (Code Division Multiple Access), což je přístupová metoda založená na kódovém dělení. Pro systém UMTS je použita její varianta WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), tj. širokopásmová přístupová metoda. U metody CDMA neexistuje žádné časové dělení a všichni uživatelé používají celý nosič po celou dobu. Jedná se o širokopásmový komunikační systém, kde mají uživatelé přístup do stejného frekvenčního pásma. K rozeznání různých uživatelů, kteří používají jedno frekvenční pásmo simultánně, se používá uživateli přidělený binární kód.

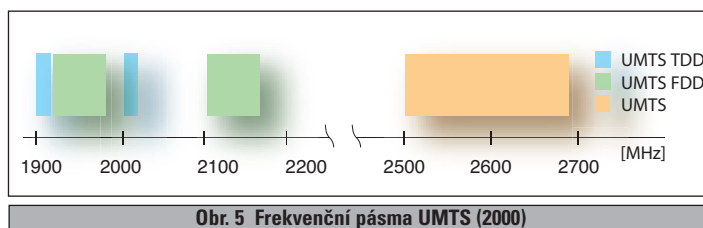
Frekvenční spektrum se skládá z jednoho párového pásma (1920–1980 MHz a 2110–2170 MHz) a jednoho nepárového pásma (1910–1920 MHz a 2010–2025 MHz). Toto spektrum je uvedeno na obr. 5.

Podle způsobu řešení duplexního provozu rozlišujeme dva základní rádiové koncepty pro WCDMA. Prvním, velmi rozšířeným typem je FDD (Frequency Division Duplex) pro párové pásmo, kde se pro vysílání (uplink) a příjem (downlink) dat používá různých frekvenčních kanálů. Technologie UMTS FDD patří k běžně implementovaným verzím systému UMTS, kterou nabízejí operátoři v řadě zemí světa a pro kterou již existuje celá řada terminálů. Druhou možností je způsob označovaný TDD (Time Division Duplex) pro nepárové pásmo, kde se pro vysílání a příjem dat používá jeden kanál. Oba směry přenosu se střídají v čase.

O standardizaci (nejen) systému UMTS se stará skupina 3GPP (3rd Generation Partnership Project), kde jsou zastoupeni jak velcí mobilní operátoři, tak výrobci a dodavatelé infrastruktury i mobilních terminálů. Existence tohoto nadnárodního sdružení se datuje od listopadu 1998 a řídicími partnery sdružení jsou národní

a mezinárodní standardizační organizace ARIB, CWTS, ETSI, T1, TTA a TTC (tabulka 1). Jejich hlavní úlohou je určení obecné politiky a strategie pro řízení sdružení 3GPP.

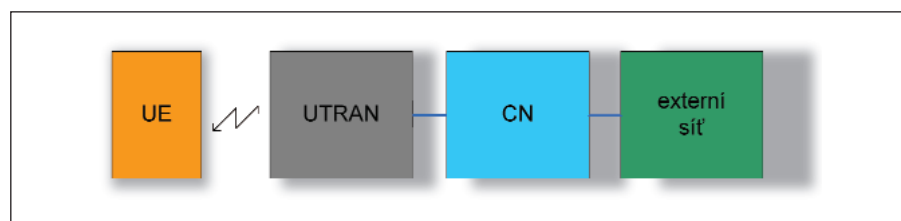
Hlavním záměrem sdružení 3GPP se stala snaha vytvořit pro třetí generaci mobilních sítí technické specifikace TS (Technical Specification) a technické zprávy (Technical Report) tak, aby základním



kamenem těchto nových sítí byly již existující sítě druhé generace. Později byly záměry 3GPP ještě doplněny o další rozvoj specifikací pro systém GSM, a to hlavně v oblasti rádiových přístupových prostředků (nadstavby GPRS a EDGE).

Architektura sítě

Obecná architektura sítě UMTS je znázorněna na obr. 6. Architektura sítě UMTS je ve své koncepci hodně podobná sítím GSM, zejména pak v centrální části CN. Sít se skládá z rádiové přístupové sítě UTRAN (UMTS Access Network) a centrální části sítě UMTS CN (Core Network). Rádiová přístupová síť UTRAN v sobě dále zahrnuje systém základnových stanic RNS (Radio Network System) a spolupracující jednotku IWU (Inter Working Unit). Centrální část sítě CN a systém základnových stanic RNS jsou navzájem propojeny přes logické rozhraní I_{ur} . Spolupracující jednotka IWU pak slouží k podpoře spojení mezi různými centrálními částmi sítě CN s různými protokoly a jedním rozhraním I_{ur} . Rádiová přístupová síť RNS se skládá z rádiového síťového kontroléru RNC (Radio Network Controller) a zá-



Obr. 6 Struktura sítě UMTS (User Equipment UE – uživatelský terminál UTRAN, Terrestrial Radio Access Network UTRAN – rádiová přístupová síť, Core Network CN – centrální část sítě)

kladnových stanic NodeB UMTS. V UMTS tedy probíhá připojení uživatele takto: terminál (mobilní telefon) – základnová stanice NodeB – rádiový síťový kontrolér RNC – centrální část sítě CN.

Rádiová přístupová síť

Systém základnových stanic RNS se skládá z rádiového síťového kontroléru RNC a jed-

né či více základnových stanic NodeB. Stanice NodeB je ke kontroléru RNC připojena prostřednictvím rozhraní I_{ub} . Kontrolér RNC je zodpovědný za rozhodnutí o přechodu na jinou základnovou stanici (handover), který vyžaduje předání signálu do mobilního terminálu.

Základnová stanice NodeB je ke kontroléru RNC připojena prostřednictvím rozhraní I_{ub} . Rozhraní I_{ur} , I_{ub} a I_{ur} jsou logická rozhraní. Mezi úkoly základnové stanice patří zpracování signálu na fyzické vrstvě (např. kanálové kódování a prokládání, modulace/demodulace, měření apod.). Dále stanice vykonává základní operace ohledně řízení zdrojů na rádiovém rozhraní.

Kontrolér RNC řídí funkce spojené s rádiovým rozhraním UMTS v oblasti své působnosti (kontrola přístupu, kontrola alokace zdrojů nebo řízení výkonu). Také řídí protokolovou komunikaci na jednotlivých rozhraních (UE-RNC, RNC-RNC nebo RNC-CMSS/SGSN).

Sít UTRAN je, jak již bylo zmíněno, sít rádiového přístupu pro síť UMTS. Tato rádiová přístupová síť má za úkol poskytovat spojení mezi centrální částí sítě CN a mobilním terminálem UE. Z logického hlediska zahrnuje centrální část sítě CN dvě domény – PSTN/ISDN a IP, bude tedy možné připojit rádiovou přístupovou síť UTRAN buď k oběma těmto doménám, nebo pouze k jedné. Uzly a zapojení v přístupové síti jsou zobrazeny na obr. 7, kde CS značí síť s komutací okruhu, PS pak síť s komutací paketu.

Pro zopakování si uvedme, že rádiová přístupová síť UTRAN se skládá ze sady několika subsystémů RNS (Radio Network Subsystem), které jsou připojeny k centrální části sítě CN prostřednictvím rozhraní I_{ur} . Systém základnových stanic RNS se skládá z kontroléru RNC (Radio Network Controller) a jednoho či více zá-

kladnových stanic NodeB. Pro každé spojení mezi mobilním terminálem a rádiovou přístupovou sítí UTRAN je jeden subsystém základnových stanic RNS použit jako spojovací subsystém (Serving RNS) a ostatní fungují jako podpůrné subsystémy (Drift RNS). Spojovací subsystém je zodpovědný za rádiové spojení mezi mobilním terminálem a rádiovou

přístupovou síť UTRAN. Pro každý mobilní terminál, který je připojen k rádiové přístupové síti UTRAN, existuje vždy jeden spojovací subsystém. Spojovací subsystém taktéž ovládá rozhraní I_{u} . Úkolem podpůrného subsystému je podpora pro spojovací subsystém tím, že dodává rádiové zdroje v době, kdy spojení mezi rádiovou přístupovou sítí UTRAN a mobilním terminálem vyžaduje použití buněk kontrolovaných tímto podpůrným subsystémem.

Centrální část sítě

Centrální část sítě se skládá z fyzických komponent, které podporují vlastnosti sítě a telekomunikační služby. Tato podpora v sobě obsahuje následující funkce: dohled nad informacemi typu alokace uživatele, kontrolu vlastností sítě a služeb, přenosové mechanismy pro signalizaci a uživatelem vygenerované informace. Centrální část sítě se dále dělí na spojovací síť (Serving Network), domácí síť (Home Network) a přenosovou síť (Transit Network).

Spojovací síť je ta část centrální sítě, ke které je připojena přístupová síť (Access Network), jež má na starosti přístup uživatele. Reprezentuje funkce centrální části sítě CN, které jsou ze strany přístupu uživatele lokální. Spojovací síť je zodpovědná za směrování telefonátu a přenos informací a dat ze zdroje k cíli.

Domácí síť představuje funkce centrální části sítě CN, které jsou prováděny a řízeny ve stejném prostředí bez ohledu na polohu místa přístupu uživatele. Domácí síť obsahuje specifická data o uživateli a je zodpovědná za dohled nad informacemi o tomto uživateli.

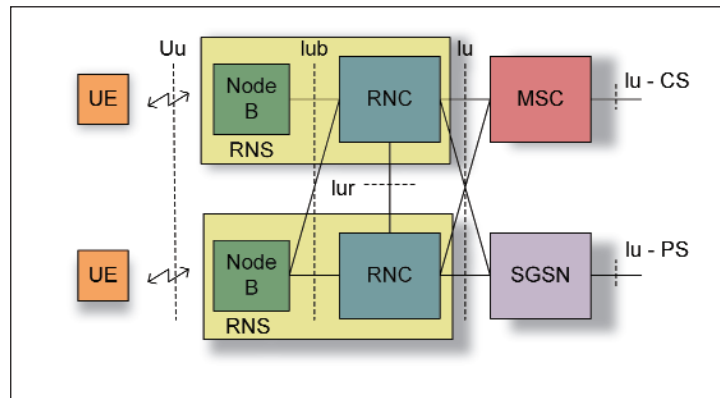
Přenosová síť je ta část centrální sítě CN, která se nachází na komunikační cestě mezi spojovací sítí (nebo domácí sítí) a vzdáleným účastníkem.

Kooperace sítě GSM a UMTS je patrná z obr. 8. Existují zde rozdílné rádiové části: pro GSM je to subsystém základnových stanic BSS (Base Station Subsystem) a pro síť UMTS rádiová přístupová síť UTRAN. Dále však již spolu obě generace mobilních sítí úzce spolupracují.

V části sítě s komutací okruhu se nacházejí mobilní ústředny MSC (Mobile Switching Centre) včetně bránových ústře-

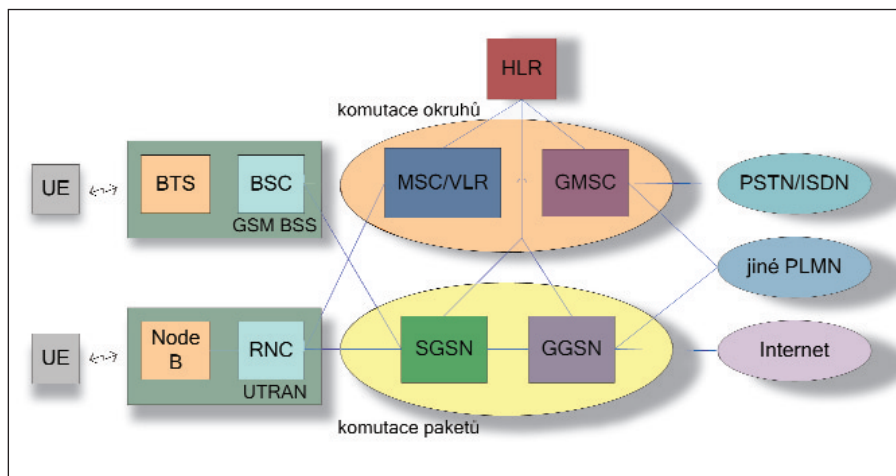
den do jiných sítí GMSC (Gateway MSC) a návštěvnické registry pro uchovávání dočasných informací o mobilních účastnících VLR (Visitor Location Register).

Část sítě s komutací paketu obsahuje období mobilních ústředn pro data SGSN (Serving GPRS Support Node), které umožňují směrování paketu včetně správy pohyblivosti, ověřování a šifrování směrem od a ke všem uživatelům služby GPRS, kteří se nacházejí v oblasti do-



Obr. 7 Rozhraní v síti UMTS

sahu SGSN, a prvku GGSN (Gateway GPRS Support Node). Ten představuje bránu k externím sítím poskytovatelů připojení ISP (Internet Service Provider), ovládá zabezpečení a funkci evidence účtu, stejně tak jako dynamickou alokaci IP-adres pro mobilní terminál, který je právě obsluhován.



Obr. 8 UMTS – rádiová přístupová síť RAN a centrální síť CN

Síť UMTS je zčásti založena na rozvinutém jádře sítě GSM, které je zpětně kompatibilní se sítí GSM, co se týče síťových protokolů a rozhraní (MAP, ISUP, atd.). Tato centrální síť podporuje jak systém GSM, tak UMTS, včetně roamingu a plynulých přechodů mezi těmito sítěmi. Rádiová přístupová síť UTRAN je připojena k jádru sítě GSM/UMTS za použití nového logického rozhraní. Přenosovým protokolem mezi rádiovou přístupovou sítí UTRAN a centrální částí sítě je asynchronní transportní mód ATM

(Asynchronous Transfer Mode). Všechny funkce rádiové sítě (jako například kontrola zdrojů) jsou ovládány uvnitř rádiové přístupové sítě UTRAN.

Závěr

Protože síť UMTS nesplňovaly všechny zákaznické požadavky (zejména na přenos dat), vznikly ještě jakési nadstavby nad UMTS – pro příklad si uvedme technologii HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Jedná se o úpravu komunikačních kanálů, a tím i o zlepšení parametrů (například menší latence než u standardní technologie UMTS a maximální teoretická sektorová rychlost na úrovni 14 Mb/s).

UMTS jako síť třetí generace ještě v řadě států ani nefunguje a standardizační skupina se už dává do práce na jejím následovníkovi. Nejde však o pouhá vylepšení a rozšíření, kam patří již zmiňované

zrychlení datových toků na downlinku využitím HSDPA nebo na uplinku formou HSUPA, které by mohly nabídnout uživatelům až megabitové rychlosti. Jde o rozsáhlé systémové změny, které by umožnily těmto sítím nabídnout až stamegabitové rychlosti. Jak se bude nový systém jmenovat? Hovořilo se o názvu Beyond 3G. Skupina 3GPP začala formulovat zásady standardu Evolved UMTS nebo Evolved UTRAN, případně Evolved UTRAN – zatím se totiž jedná o specifikace terestrické rádiové sítě, do dalších prvků sítě UMTS změny nesahají, alespoň tedy zatím. V současné době probíhá sbírání požadavků na to, co by Evolved UMTS mělo obnášet a čím by

mělo navazovat na již existující UMTS Release 6. Ze schváleného pracovního plánu je zřejmé, že k uzavření studijní fáze by mělo dojít v polovině roku 2006 a v polovině roku 2007 bychom měli mít k dispozici schválený standard.

Je vidět, že vývoj mobilních sítí jde stále rychle dopředu, a bude určitě zajímavé sledovat, jakými novinkami nás v dohledné době překvapí. Sdělovací technika bude problematiku sledovat.

Ing. Jiří Svoboda, katedra telekomunikační techniky, ČVUT FEL