

# Prednáška 6

Druhy prístupových sietí – pokračovanie

## Rádiový širokopásmový prístup

RAN – Radio Access Network, RITL – Radio In The Loop, aj iné názvy (RLL - Radio Local Loop, WLL -Wireless Local Loop)

Rádiová komunikácia všeobecne predstavuje šírenie signálu voľným priestorom pomocou (neviditeľných) elektromagnetických vln v takých frekvenčných pásmach, pre ktoré je to v danom prípade efektívne.

Hovoríme o šírení rádiových vln. Rádiové vlny majú svoju známu klasifikáciu – dlhé vlny (DV), stredné vlny (SV), krátke (KV) a veľmi krátke vlny (VKV), s príslušným rozdelením frekvenčného spektra, a samozrejme, v anglickej verzii s ekvivalentným názvoslovím. Nad pásmom VKV sa v spektre ďalej nachádzajú televízne pásma, až do približne 1 GHz, pásma mobilných telekomunikačných sietí, pásma pre satelitné spoje, rádio-reléové spoje (RRS), širokopásmové prístupové siete a ďalšie.

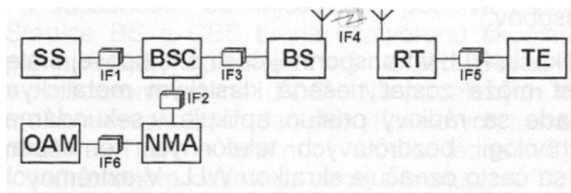
Táto komunikácia môže byť

- výlučne rádiová, s prípadnými retranslačnými stanicami, slúžiacimi na obnovu signálu (pozemnými alebo satelitnými, pričom satelitné môžu byť aktívne alebo len odrazové),
- alebo rádiové spoje môžu dopĺňať káblové prostriedky tam, kde je to výhodné, alebo sa pomocou nich vytvára špecializovaná mobilná alebo pevná sieť s mnohými službami.

Rádiové prístupové siete sú **výhodné** v ťažko prístupných oblastiach a v oblastiach s riedkym osídlením, kde sa nevyplatí budovať káblové rozvody. Sú výhodné aj pre operatívne nasadenie v krízových resp. iných situáciách, kde vznikne náhla potreba poskytovať komunikačné služby väčšiemu počtu používateľov.

K **nevýhodám** rádiovej komunikácie patrí obmedzenie prenosovej kapacity, zmena prenosových parametrov s časom (*úniky – fading*), možnosť neoprávneného ovplyvňovania prenosu (*rušenie*), možnosť *odposluchu* (nelegálny príjem). Niektoré nepriaznivé okolnosti sa dajú obmedziť: smerovaním signálu v úzkom lúči, vhodným kódovaním správy, vhodnou moduláciou.

Všeobecné vlastnosti RLL popisuje európska norma ETSI ETR 139. *Referenčný model* na Obr. 1 definuje základné časti RLL a zodpovedajúce rozhrania.



**Obr. 1** Referenčný model RLL všeobecne

Legenda:

- SS – pevná sieť,
- BSC- Base Station Controller,
- BS – Base Station (základňová stanica),
- RT- Radio termination (zakončenie rádiovkej siete),
- TE - Terminal equipment (účastnícky terminál),
- IF – rozhrania (Interface), IF1 (V5.x, V2) – v závislosti od kapacity alebo individuálneho účastníckeho analógového alebo digitálneho rozhrania, IF2 – vnútorné systémové rozhranie, IF3 – systémové rozhranie na fyzickej vrstve; má charakter digitálnej účastníckej prípojky, IF4 – rádiové rozhranie, IF5 – štandardizované účastnícké rozhranie pre pripojenie účastníckych terminálov TE, IF 6 - rozhranie Q2 alebo Q3,
- OAM-Operation, Administration and Maintenance (súbor funkcií pre riadenie prevádzky, administráciu a údržbu),
- NMA-Network Management Agent

Prostredie pevnej siete SS je cez rozhranie IF1 pripojené k jednotke riadenia základňovej stanice BSC. Ku nej je pripojená minimálne jedna BS, ktorá obsahuje rádiovú časť systému. Jednotka BSC súčasne zabezpečuje prístup k riadiacim funkciám OAM prostredníctvom svojho „agenta“ NMA cez rozhrania IF6 a IF2. Zakončenie rádiovkej siete (RT) obsahuje rádiovú časť účastníckeho prípoja, ktorá komunikuje s BS cez rádiové rozhranie IF4. RT poskytuje rozhrania IF5, ku ktorým možno pripojiť TE.

Rádiové komunikačné siete môžeme klasifikovať (deliť do tried, skupín) podľa viacerých hľadísk. Niektoré z týchto hľadísk a delení sú uvedené v Tab. 1.

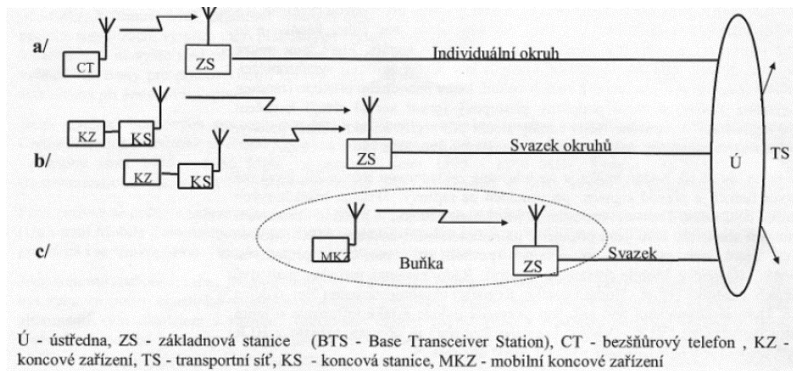
Tab.1 Delenie rádiových prenosových prostriedkov

Typ delenia	Druh rádiových prostriedkov	
Šírka pásma	Úzkopásmové	Širokopásmové
Smer prenosu	Distribučné – jednosmerné	S obojsmernou komunikáciou
Usporiadanie	bod - bod	Bod – mnoho bodov
Mobilita účastníka	Pevná bezdrôtová prípojka	Mobilný terminál
Využitie prostriedky	Pozemné	Družicové (aj iné...)

Ďalšie delenie:

- podľa poskytovaných služieb: telefónne, dátové, ...

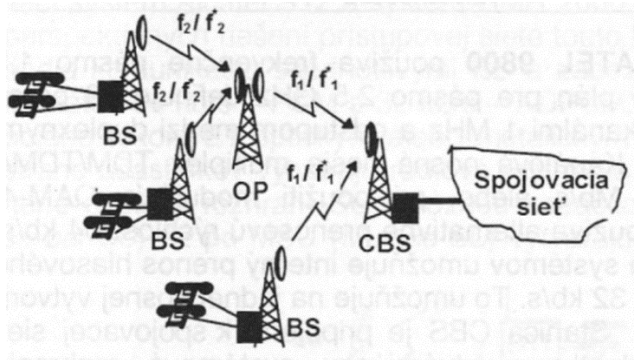
- podľa metódy zdieľania prenosovej kapacity: FDM, TDM a prístupy FDMA, TDMA, CDMA...
- modulačné metódy: PSK (fázové kľúčovanie), QAM
- privátne a verejné
- podľa možnosti včlenenia rádiového úseku do prístupovej vrstvy telekomunikačnej siete môžeme hovoriť o delení na (Obr. 2) [1]:
  - bezšnúrový telefón
  - pevné bezdrôtové prístupové siete (RLL – Radio in the Local Loop)
  - mobilná bunková sieť



Obr.2 Rádiová prístupová sieť: a) bezšnúrový telefón s individuálnym pripojením, b) bezšnúrový telefón so spoločným pripojením, c) mobilná bunková sieť

Väčšina spomínaných tried rádiových sietí sa delí ešte podrobnejšie, resp. patria do nej konkrétne rádiové systémy, ktoré sa navzájom líšia svojimi jednotlivými špecifikáciami a nie sú navzájom kompatibilné.

V transportnej vrstve telekomunikačných sietí sa využívajú RRS (rádio – reléové spoje) (Obr. 3), ktoré takto nahrádzajú zväzky niektorej časti pevnej siete. Slúžia pre klasické telekomunikačné služby, ale aj pre televízne prenosy. V týchto prípadoch (z dôvodu frekvenčného pásma) je pri prenose medzi dvoma stanicami nutná priama viditeľnosť (tzv. podmienka LOS – Line-of-Sight).



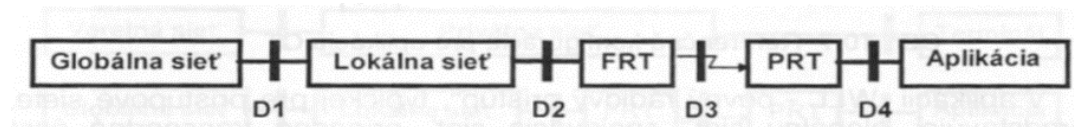
Obr.3 Princíp RLL v transportnej časti prístupovej siete

V ďalších podkapitolách uvedieme špecifikácie najrozšírenejších typov rádiových prístupových sietí.

## Bezšnúrový telefón

(CT – Cordless Telephone - bezšnúrový telefón)

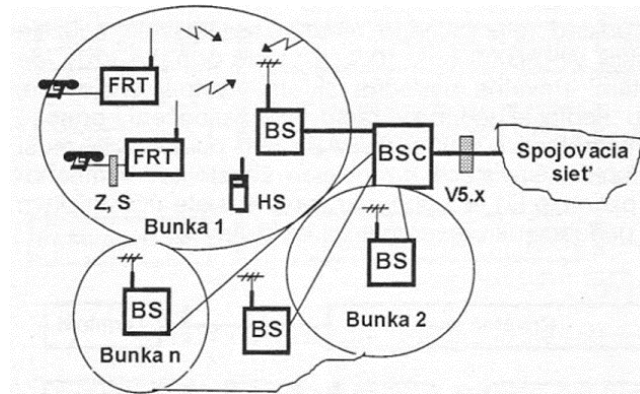
Pre bezšnúrové telefóny sa používa štandard a systém DECT (Digital European Cordless Telecommunication). Je to bunkový systém zabezpečujúci bezdrôtové spojenie typu bod-viac bodov medzi pevnou časťou systému FRT (Fixed Radio Termination – pevné rádiové zakončenie) a prenosnou časťou (PRT – Portable Radio Termination). Medzi nimi je rádiové rozhranie D3 (Obr. 4).



Obr. 4 Všeobecný referenčný model systému DECT

Rozmer bunky je asi 50 m až 3 km podľa aplikácie a podmienok.

Systém je určený pre zabezpečenie *úzkopásmového bezdrôtového prístupu k verejnej alebo privatej telekomunikačnej sieti*, a to v jednoduchých aj zložitých aplikáciách (rozľahlé multibunkové siete s lokáciou polohy účastníka – *roaming*, prechodom medzi bunkami, adaptívnou zmenou kanálového intervalu, atď.). Ako vidno tento systém, hlavne v jeho poslednej verzii je už veľmi podobný mobilnej telefónii.



Obr. 5 Architektúra DECT v prístupovej sieti

Pevné rádiové rozhranie je umiestnené v základňovej stanici (BS – Base Station), s ktorou komunikuje prenosné zakončenie rádiovéj siete PRT, umiestnené v mobilnom koncovom zariadení CT (v „bezšnúrovom telefóne“). Tento systém umožňuje zvýšenie mobility užívateľa, no s obmedzením iba na priestor budovy, resp. jej bezprostredné okolie. Problém napájania prenosnej časti je riešený akumulátorom, ktorý sa nabíja v čase uloženia CT na BS. Napájanie BS môže byť *realizované prúdom z miestnej ústredne*, alebo z domácej elektrickej prípojky.

**Nevýhodou** z pohľadu poskytovateľa takejto služby je malé využitie individuálneho okruhu.

História vývoja štandardov bezšnúrového telefónu:

CT1 – analógový FM-prenos, 40 kanálov, 914-915 MHz, 959-960 MHz,

CT2 – digitálny štandard, 40 kanálov, TDD - duplex s časovým delením (down/up na rovnakej frekvencii ale v oddelených časových slotoch); 864-868 MHz, 32 kbps,

CT3 – DCT 900 – predchodca DECT – pre bezšnúrové pobočkové ústredne,

DECT (Digital European Cordless Telecommunication, alebo Digital Enhanced Cordless Telecommunication) – vznik: 1992, niekoľko fáz (generácií):

- 1. architektúra ako na Obr. 2-b, telefón, fax, dátový prenos do 28,8 kbps; 1880-1900 MHz, 120 kanálov s časovým duplexom, dosah medzi ZS a KS je do 5 km, v architektúre sa začalo používať názvoslovie DAN (DECT Access Node, FAU – Fixed Access Unit),

- 2. *Cordless in the home*, zväčšená mobilita koncových zariadení pomocou jednotky FRU (Fixed Repeater Unit), rozšírená ponuka služieb (len v okruhu 1 BS)

- 3. *Cordless in the Neighbourhood* – zväčšenie mobility aj do susedných DAN a poskytovanie služieb ISDN, zvýšená možnosť vzniku preťaženia niektorej BS. Je základom pre UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, 3. generácia mobilného bunkového systému pre siete založené na štandarde GSM).

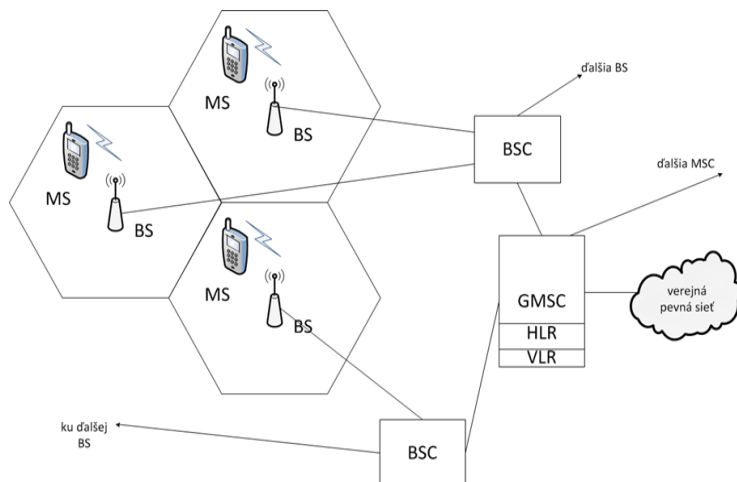
Ďalším stupňom mobility je už mobilná bunková sieť.

Ekvivalentné systémy bezšnúrových telefónov v USA sú PACS (Personal Access Communication System) a v Japonsku PHS (Personal Handyphone System; pre súkromné aj verejné používanie, ktoré sa líšia frekvenčnými pásmami okolo 1900 MHz).

### Mobilná bunková sieť

Oblasť mobilného príjmu pomocou malých prenosných (vreckových) zariadení - telefónov, a využívanie rôznych typov služieb v rámci tohto systému a pomocou jediného spomínaného zariadenia, je predmetom samostatných výučbových disciplín. Na tomto mieste budú uvedené len niektoré základné fakty a špecifikácie týchto sietí.

Mobilné koncové zariadenia (KZ) majú samostatný zdroj energie (batériu, akumulátor), a ich pohyb je možný dnes už prakticky voľne po celom území krajiny, aj cudzej krajiny, aj za oceánom, pričom plocha tohto územia je pomyselne rozdelená na malé segmenty – *bunky*. Bunkami sa nazývajú priestorové jednotky pokryté rádiovým signálom zo základňovej stanice BS (alebo ZS) (Obr. 6). BS vďaka tejto architektúre vystačia pri pokrytí bunky svojimi vysielačmi s pomerne malým výkonom.



Obr. 6 Bunková štruktúra siete GSM

Pretože susedné bunky sa čiastočne prekrývajú, je nutné pre ich pokrytie voliť rôzne frekvenčné pásma, čo je záležitosťou tzv. *frekvenčného plánovania*. Na jednu bunku pripadá skupina frekvenčných kanálov pridelovaných pre aktuálne komunikujúcich účastníkov; tieto kanály sa však nemôžu použiť v susedných bunkách. Tie isté frekvenčné kanály sa môžu použiť až o bunku ďalej (*frekvenčné opakovanie*).

Účastníci (s výnimkou prvých fáz existencie týchto sietí) môžu voľne prechádzať z jednej bunky do druhej, pričom bázové stanice si ich „odovzdávajú“ (*handover a handoff* – čo je riadený proces prepnutia, presúvania hovoru medzi rôznymi kanálmi pri prechode do susednej bunky). Pri prechode na územie inej krajiny (iní poskytovatelia, iné dohodnuté podmienky využívania služieb) sa komunikácia podľa možnosti vôbec neprerušuje, a operátori si zákazníka odovzdávajú v rámci tzv. systému *roamingu*.

Veľkosť buniek sa navrhuje na základe *teórie hromadnej obsluhy* (na výpočtoch sa podieľajú parametre ako maximálny počet súčasných spojení a veľkosť *intenzity ponúkaného zaťaženia*) rádovo od stoviek metrov po desiatky kilometrov. S priemerom bunky súvisí potom maximálny výkon BS.

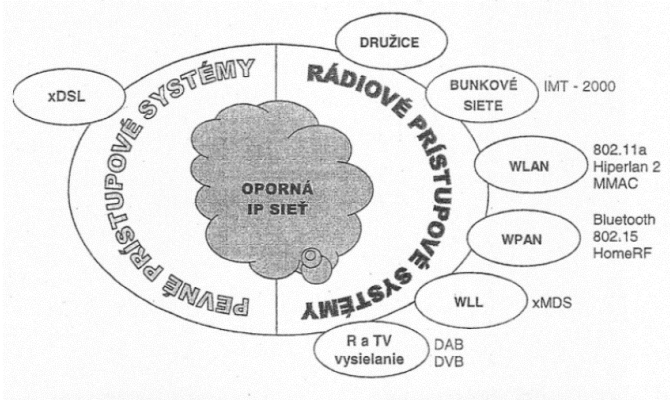
#### Prehľad generácií mobilnej komunikácie v skratke

1. Prvá generácia využívala analógovú úzkopásmovú frekvenčnú moduláciu (FM; prístup FDMA) v pásme 450 až 900 MHz. Komunikácia bola možná len v rámci národných systémov.
2. „2G“ - Druhá generácia (GSM – Groupe Spécial Mobile / Global System for Mobile Communications, 2G-GSM); digitálny signál, 890-915 MHz up / 935 – 960 MHz down, šírka kanálov 200 kHz, úzkopásmový TDMA, neskoršie CDMA.
3. „2,5-tá“ generácia, „2,5 G“, alebo GSM 2+: Pre túto generáciu, ktorú ešte štandardy nepovažovali za 3G, je charakteristické zavedenie systému *GPRS* (General Packet Radio Service – paketovo orientované služby), čo je mobilná *dátová služba*, prístupná pre používateľov GSM (a mobilov IS-136 – v USA a Kanade), a poskytujúca vysokorýchlostný prenos dát, služby WAP (Wireless Application Protocol), SMS, MMS a internetové služby (e-mail, www-prístup); TDMA-prístup. K 2,5-tej generácii sa radí tiež systém HS-CSD (High Speed Circuit Switched Data – prepojenie okruhov); 57,6 kbps.
4. Generácia „2,75 G“ - EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution, alebo Enhanced GPRS - EGPRS, alebo IMT Single Carrier - IMT-SC, alebo Enhanced Data rates for Global Evolution) je

štandard medzi GSM a IMT-2000, pre zaujímavosť označovaný tiež „2,75 G“, navrhnutý pre rozšírenie dátových rýchlostí, čo sa dosiahlo efektívnejším kódovaním (8-PSK).

5. „3G“ - Tretia generácia: *UMTS* (Universal Mobile Telecommunications System, vyvinutý organizáciou ETSI, označovaný niekedy R99 – Release 99) a iné (IMT-2000 - International Mobile Telecommunications for the year 2000, vyvinutý ITU), označovaná tiež 3GSM alebo 3G-cellular RADIO SYSTEM. Využíva prístup W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), v kombinácii s FDD a DS-SS-SS-SS; podporuje SMS a MMS, ako aj vysokorýchlostné prenosy pre prístup k Internetu. Systém UMTS uprednostnil *evolúciu*, čiže postupný vývin od 2G, a hlavne využitie vysoko rozvinutého GSM. Pre rádiové rozhranie sa využíva CDMA, pre prenos v rámci UMTS v pozemnej prístupovej sieti prenos ATM. Oporná sieť pozostáva zo zdokonalených prvkov siete GSM (zdokonalená architektúra-bázových staníc - NodeB, atď.); rýchlosť do 14 Mbps - pri obmedzenej mobilite; 348 kbps v dopravných prostriedkoch do 120 km/h. Ďalšie vývojové stupne smerom k zvyšovaniu rýchlosti: *HSDPA* - High Speed Downlink Packed Access, 14,4 Mbps, *HSUPA* - High Speed Uplink Packed Access, 28,8Mbps, *HSPA+*(štandard Rel.7) - ďalšie navýšenie vďaka viacstavovým moduláciám QAM, *MIMO*-technike (Multiple Input Multiple Output - technika viacnásobného vysielania a prijímu), novým typom prijímačov. Prešiel vývinom: R4,R5,R6,R7, nakoniec k R8 (LTE).
6. „4G“

Systém 3G mal byť *globálny* pre pokrytie všetkých typov sietí – družicových aj pozemných, so zdokonaleným bunkovým systémom. No dopadlo to tak, že vzniklo asi 5 nekompatibilných štandardov „3G“. Konferencia WARC'92 /ITU (World Administrative Radio Conference) vyčlenila pre 3G pásmo 1885-2200 MHz, čo však nebolo dostupné všade. Preto s pojmom „4G“ sa zaobchádzalo opatrne. Zo začiatku si 4G-prognóza dávala za cieľ nie globálny štandard, ale ekonomický úspech na základe splnenia „túžob“ zákazníka (služby s vysokou bezpečnosťou a spoľahlivosťou, cenovo výhodné terminály s dlhou životnosťou batérií). V *horizontálnom modeli* malo 4G predstavovať rôzne prístupové technológie kombinované do spoločnej platformy, navzájom sa dopĺňujúce a pre rôzne služby v rôznych rádiových prostrediach, prepojené flexibilnou opornou sieťou (viď Obr.7).



Obr. 7 Niekdajšia predstava 4G: nie globálny štandard (snaha o spoločný 3G štandard stroskotala), ale kombinácia rôznych prístupových technológií navzájom sa dopĺňajúcich, v rôznych rádiových prostrediach a prepojených flexibilnou opornou sieťou.

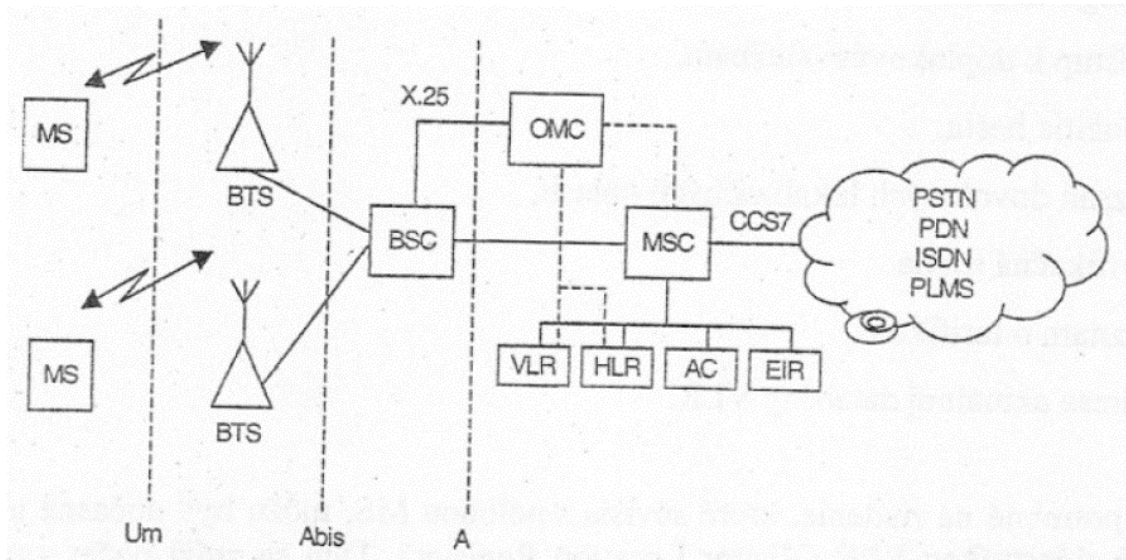


Vývoj systémov nakoniec dospel k štandardu LTE (Long Term Evolution – „3,9 G“) a k jeho vyššej verzii LTE-Advanced („4G“). Ako majú v názve, tieto štandardy stavili nie na úplne prevratné zmeny všetkého existujúceho, ale tiež na evolučný vývoj, na využitie toho dobrého, čo bolo zdedené, na jeho vylepšenie, a na aplikáciu moderných vedeckých poznatkov, spracovania signálov, materiálov a riešení, umožňujúcich naplniť parametre stanovené pre 4. generáciu.

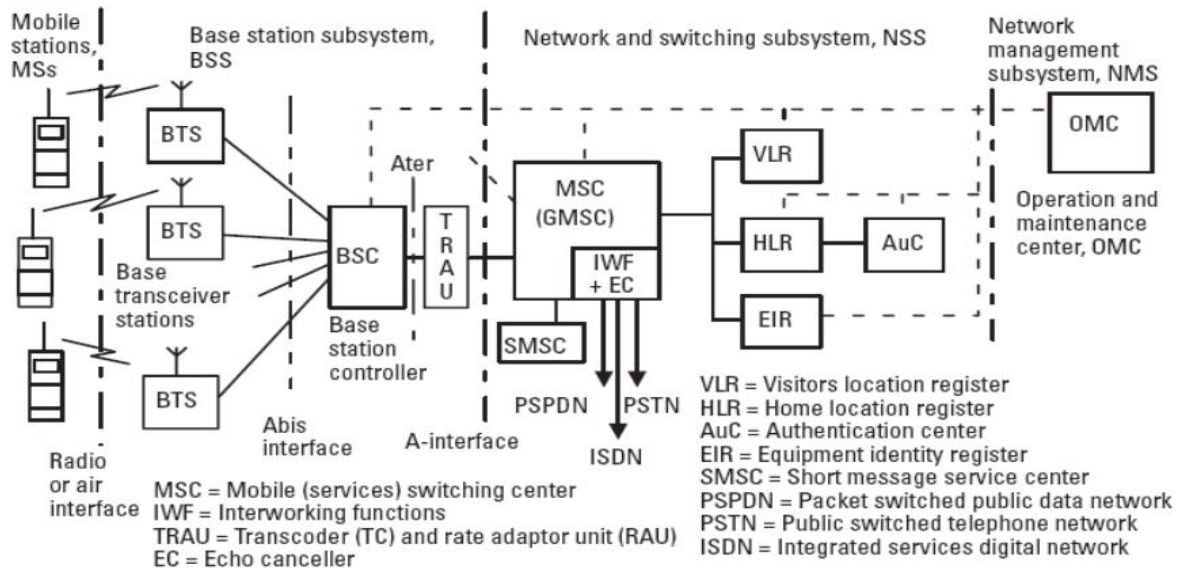
### Mobilné rádiové technológie trochu podrobnejšie

#### Mobilná rádiová sieť GSM

Architektúra systému GSM spolu s názvoslovím je uvedená na Obr. 8.



a)



b)

Obr. 8 Bloková schéma siete GSM menej podrobne - a), a trochu podrobnejšie b)



Každá bunka je obsluhovaná základňovou stanicou ZS (BS), ktorá má len malú inteligenciu. Hlavnou úlohou BS je prevod signálu elektrického na rádiový. Skupina BSC je pripojená k riadiacemu stupňu BSC (Base Station Controller), ktorého hlavnou funkciou je *hľadanie, obsadzovanie a uvoľňovanie kanálov v BS*. Viaceré BSCs sú pripojené na MSC (Mobile Switching Centre = rádio-telefónna ústredňa). Ak je MSC pripojená k verejnej pevnej sieti, potom je to *prípojná rádiotelefónna ústredňa* (GMSC = Gateway MSC).

MSCs majú 2 základné databázy:

- *Register domácich účastníkov* (HLR – Home Location Register)
- *Register návštevníkov* (VLR – Visitor Location Register)

Okrem týchto má aj register EIR (Equipment Identity Register – uchováva identifikačné čísla zariadení) a AC (Authentication Center – autentifikácia, overovanie). Spomínané registre slúžia na zaznamenanie a aktualizáciu základných údajov o MS (Mobile Station).

(Pozn.: Proces signalizácie a vytvárania prenosovej cesty v rámci tohto kurzu vynecháme.)

GSM je *verejná rádiová mobilná sieť*. Označuje sa ako mobilný komunikačný systém 2. generácie. Ako prístupové metódy využíva FDMA a TDMA. Oddelenie smerov up/down sa realizuje pomocou FDD / TDD (duplexný prenos). používa 2 frekvenčné pásma so šírkou 25 MHz (890 až 915 MHz down / 935 až 960 MHz up).

*LTE – Long Term Evolution (dlhodobý vývoj) – 3GPP Release 8, a LTE-Advanced*

LTE sa nazýva tiež E-UTRAN – Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network, alebo 3GPP Rel-8 a -9. Systém LTE sa v reklamách prezentoval ako “4G”, ale jeho prvá verzia v skutočnosti ešte ciele stanovené ITU pre 4G nenapĺňala, preto ju technickí odborníci označovali ako generáciu “3,9 G”.

*Požiadavky 4G alebo IMT-Advanced* (International Mobile Telecommunications - pokročilé) stanovila ITU v roku 2008: majú poskytovať úplné širokopásmové služby, bezpečne, prostredníctvom IP-protokolu, a poskytovať ich aj *mobile* – pomocou osobných počítačov, bezdrôtových modemov, smartfónov a ďalších mobilných zariadení aj v rýchlych dopravných prostriedkoch (autá, vlaky). Medzi spomínanými službami má byť ultraširokopásmový Internet do 300 Mbps v dopravných prostriedkoch a do 1 Gbps pri pomalej mobilite účastníka, IP-telefónia, hry a strímované multimédiá, systém má umožňovať roaming vo WLAN a integráciu s DVB-systémom (príjem digitálnej televízie, a to aj vo formáte HD). 4G-systém nemal byť a nie je spätne kompatibilný s 3G systémami.

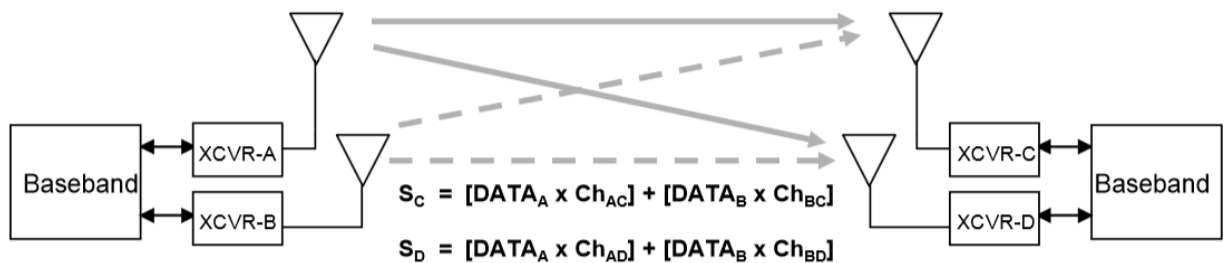
Vyššia verzia LTE, s názvom *LTE-Advanced* už môže byť považovaná za generáciu 4G. Poskytuje vyššie prenosové rýchlosti ako LTE, a je s LTE spätne kompatibilná. Využíva rovnaké pásma ako LTE.

Firmy METRO PCS, Verizon Wireless, AT&T Mobility v USA spustili prevádzku LTE v roku 2010, Telia Sonera v Stockholme a v Oslo už koncom r. 2009; Airtel (India) v apríli 2012.

V súčasnosti je už LTE globálnym systémom, no v rôznych regiónoch využíva rôzne frekvenčné pásma. Obsahuje radu vylepšení oproti systému UMTS / GSM. Jeho hlavnými špecifikáciami sú nasledovné (viď aj Tab. 2):

- rýchlosť down: min. 100 Mbps,; up: 50 Mbps
- RAN round-trip-time < 10 ms (RTT je čas potrebný na prenos signálu + potvrdenie, že bol prijatý, tiež ping-time)

- škálovateľné nosné pásma od 1,25 MHz do 20 MHz (t.zn. „dostaneš takú šírku, akú potrebuješ, ale podľa vyťaženia siete), niekde uvádzané od 1,4 do 20 MHz.
- podporuje duplex typu FDD aj TDD
- sieťová architektúra GPRS (paketovo orientované služby v 2G, a 3G, platilo sa za objemy dát, služba typu „best effort“) sa nahrádza IP sieťovou architektúrou, má byť jednoduchá (čo má podporovať nízku cenu služieb); systém má umožňovať „bezšvíkové“ prechody do oblastí so staršími technológiami (GSM, cdmaOne, UMTS, CDMA 2000)
- to všetko s využitím nových techník digitálneho spracovania signálov a efektívnych modulácií (*MIMO technológia* na fyzickej vrstve – Obr. 9: *smart antény*, viacnásobný prijímač/vysielač a princíp MRC – Maximal Ratio Combining – maximálne vyťaženie výkonu prijatého signálu z viacerých antén, keď je slabý signál; OFDMA a až 64-stavová QAM).



Obr. 9 Systém MIMO – Multiple Input – Multiple Output - Dáta vysielané súčasne z 2 antén a prijímané dvoma anténami [4].

Tab. 2 Prehľad hlavných špecifikácií LTE

Parameter	Požiadavka
Špičková dát.rýchlosť	DL: 100 Mbps UL: 50 Mbps (pre 20 MHz spektrum)
Podpora mobility	Do 500 km/h, ale optimalizované pre malé rýchlosti 0-15 km/h
Control plane latency (odozva...)	<100ms (prechod do aktívneho stavu)
Odozva užívateľskej vrstvy	<5ms
Kapacita kontrolnej roviny	>200 užívateľov na bunku (pri 5MHz spektre)
Pokrytie	5-100 km s malou degradáciou nad 30 km
Flexibilita spektra	1,25; 2,5; 5; 10; 15 a 20 MHz

#### LTE – Advanced

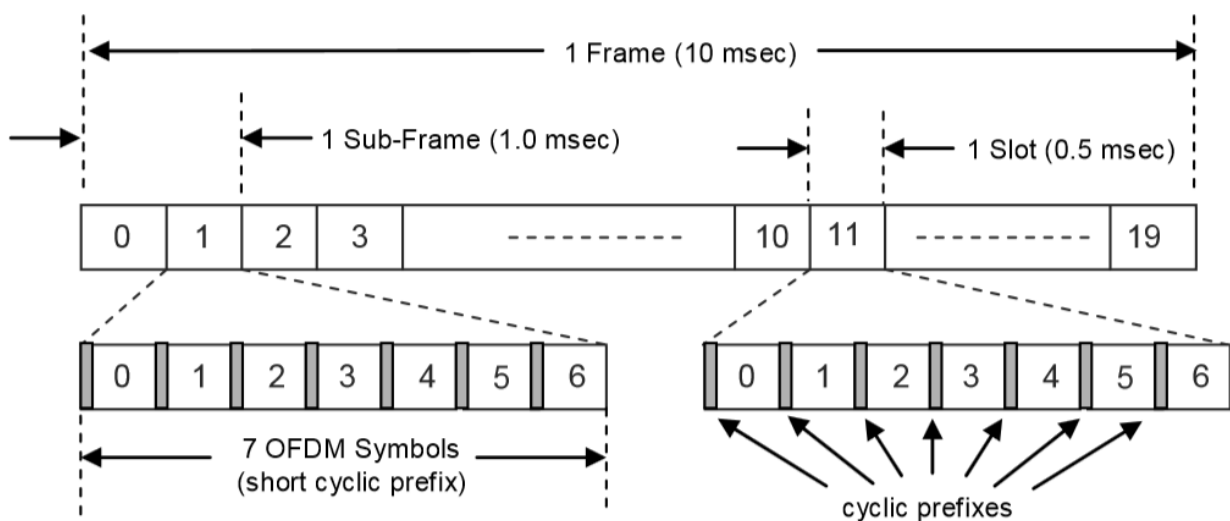
Vyššia verzia LTE (LTE – Advanced) bola štandardizovaná v r. 2011, a formálne už spĺňa požiadavky ITU-T pre 4G (True 4G). Tento štandard sa tiež označuje ako 3GPP Release 10. Jeho špecifikácie sú nasledovné:

- špičkový down 326,4 Mbps pri 4 x 4 anténach (up 75 Mbps)

- 172,8 Mbps pri 2 x 2 anténach
- v súčasnosti (r. 2017) až 2998,6 Mbps pri 8 x 8 anténach
- opäť využívanie flexibilnej šírky pásma od 1,4 do 20 MHz, a tam kde je to možné až do 100 MHz
- agregácia nosných v súvislom aj v nesúvislom využívanom pásme
- až do 200 užívateľov v každej bunke (pri 5 MHz-komunikačných kanáloch)
- podpora QoS
- neustávajúce vylepšovanie rádio-technológie LTE a jej architektúry
- spätná kompatibilita s LTE (koncové zariadenia LTE môžu pracovať v sieti LTE-Advanced a naopak)
- MIMO, diverzitný príjem na princípe *viacerých prijímačov*, nielen viacerých antén (výsledný signál je potom kombinovaný z 2 alebo viacerých prijímačov, šum je *nekorelovaný*, takže po lineárnej kombinácii zložkových signálov klesne, a SNR stúpne – napr. o 3dB pri 2 prijímačoch), smart antény, OFDMA na fyzickej vrstve
- „Kognitívne rádio“ –
- automatická a autonómna konfigurácia a činnosť siete
- využitie MRC (viacnásobné „vysielanie“ pri mnohonásobných odrazoch) v BS aj v UE (User Equipment – užívateľské zariadenie pre robustnosť linky)
- a ďalšie moderné vlastnosti siete, systému a zariadení.

OFDM v downlinku: pre užívateľa je alokovaný špecifický počet subnosných v preddefinovanom časovom intervale, t. zn. že *PRB (Physical Resource Block)* má časový aj frekvenčný rozmer, o čo sa stará 3GPP-bázová stanica (*e-NodeB*).

PRB (generická štruktúra rámca LTE, Obr. 10) je 10-ms rámec, ktorý obsahuje 10 *subrámcov po 1 ms*, a každý z nich má 2 časové sloty po 0,5 ms. Tieto sloty obsahujú 6 alebo 7 OFDM symbolov prenesených pomocou 12 subnosných OFDM. PRB je najmenšia časť alokovaných zdrojov, určená plánovačom v bázevej stanici. V PRB je vložený aj referenčný signál, a to v 2 presne určených symboloch zo spomínaných 6 alebo 7 (nepoužíva sa zvlášť kanálová estimácia, časová synchronizácia a pod.)



Obr. 10 Štruktúra generického rámca LTE (PRB) [4]

Referencie:

- [1] Vaculík: Prístupové siete. ŽU v Žiline, 2000.
- [2] J. Vodrážka: Přenosové systémy v přístupové síti. ČVUT, 2003.
- [3] Internet
- [4] J. Zyren: Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer. White paper. Document Number: 3GPPEVOLUTIONWP, Rev 0, 07/2007, Freescale Semiconductor.