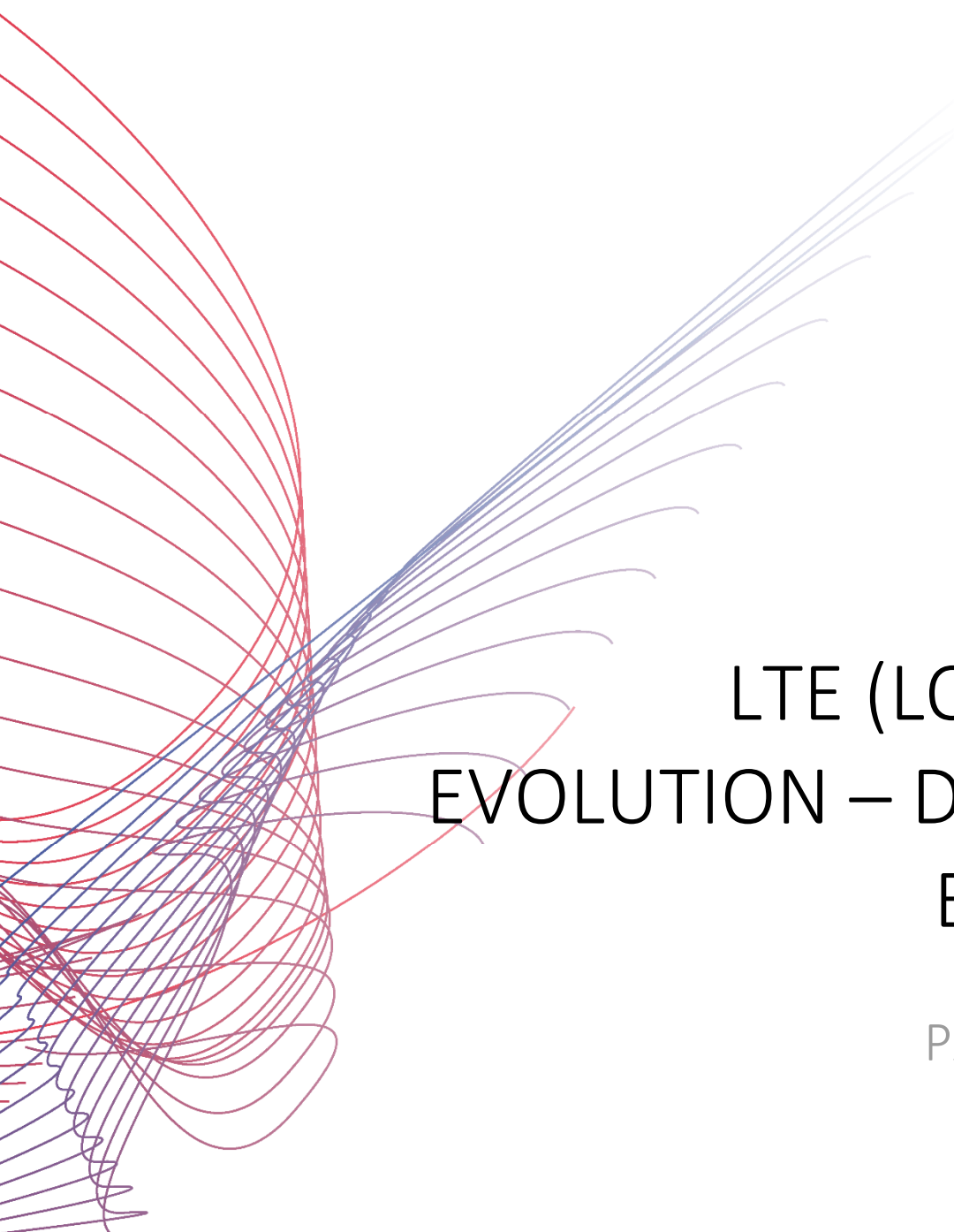




TECH pedia



LTE (LONG TERM EVOLUTION – DLHODOBÁ EVOLÚCIA)

PAVEL BEZPALEC

Názov: LTE (Long Term Evolution – Dlhodobá evolúcia)
Autor: Pavel Bezpalec
Preložil: Ján Dúha
Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Kontaktná adresa: Technická 2, Praha 6, Česká republika
Tel.: +420 224352084
Tlač: (iba elektronická)
Počet strán: 35
Edícia (vydanie): 1. vydanie, 2017
ISBN 978-80-01-06295-1

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



Tento projekt bol financovaný s podporou Európskej Komisie.

Táto publikácia (dokument) reprezentuje výlučne názor autora a Komisia nezodpovedá za akékoľvek použitie informácií obsiahnutých v tejto publikácii (dokumente).

VYSVETLIVKY



Definícia



Zaujímavosť



Poznámka



Príklad



Zhrnutie



Výhody



Nevýhody

ANOTÁCIA

LTE je ďalším krokom vo vývoji mobilných služieb. Technológia LTE, založená na štandardoch združenia 3GPP, poskytuje prenosové rýchlosti až 150 Mbit/s v smere k používateľovi a až 50 Mbit/s v smere do siete. Pevné bezdrôtové pripojenie a štandardy v pevnej sieti sa už približujú alebo dosahujú prenosové rýchlosti až 100 Mbit/s a LTE predstavuje spôsob, ako prevádzkovať mobilnú komunikáciu na takejto vysokej rýchlosti prenosu dát.

CIELE

Prehľad poznatkov o technológii LTE.

LITERATÚRA

- [1] Lescuyer, P. – Lucidarme, T. Evolved Packet System (EPS): The LTE and the SAE Evolution of 3G UMTS. John Wiley & Sons Ltd., 2008. ISBN 978-0-470-05976-0.
- [2] Sesia, S. – Toufik, I. – Baker, M. LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons Ltd., 2009. ISBN 978-0-470-69716-0.
- [3] Olsson, M. et. al., SAE and the Evolved Packet Core – Driving the Mobile broadband Revolution. Academic Press; 1 edition, 2009. ISBN: 978-0-12-374826-3.

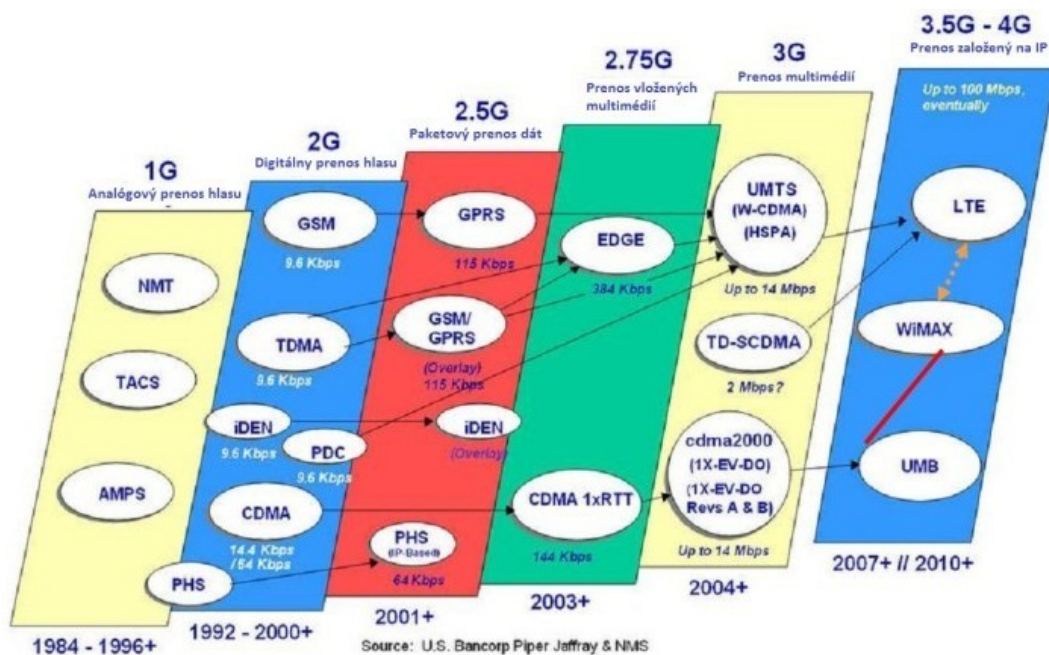
Obsah

1	Prehľad mobilných technológií na prenos hlasu a dát	6
1.1	Architektúra sietí 2G	7
1.2	Vývoj smerom k 3G a IMS	10
1.3	Architektúra EPS	11
2	Topológia siete LTE	12
2.1	E-UTRAN	13
2.2	EPC a jeho zložky	15
3	Protokolová architektúra LTE	18
3.1	Protokoly pre používateľskú rovinu LTE.....	19
3.2	Protokoly pre riadiacu rovinu LTE	21
4	Fyzické a logické kanály v LTE	22
5	Intenzita prevádzky v sieti LTE.....	23
5.1	Intenzita prevádzky vo vzostupnom spoji	25
5.2	Intenzita prevádzky v zostupnom spoji	26
6	Prenos hlasu sieťou LTE	27
6.1	Hlas cez LTE	28
6.2	CSFB – Záložný prepínaný okruh.....	30
6.3	SVLTE - Simultánne hlas a LTE	31
7	Kvalita služby v LTE	32
8	Rozvoj LTE.....	34

1 Prehľad mobilných technológií na prenos hlasu a dát

Skratka pre dlhodobú evolúciu - **LTE** (*Long Term Evolution*) je registrovanou ochrannou známkou patriacou združeniu **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*) pre bezdrôtové technológie dátových komunikácií a vývoj štandardov pre GSM / UMTS. Navyiac aj iné spoločnosti hrajú veľmi aktívnu rolu v projekte LTE. Cieľom LTE je zvýšiť kapacitu a rýchlosť bezdrôtových dátových sietí využitím nových techník používajúcich pokročilé vlastnosti digitálneho spracovania signálov **DSP** (*Digital Signal Processing*) a využitím nových modulácií, ktoré boli vyvinuté na prelome tisícročí. Ďalším cieľom bolo prebudovanie a zjednodušenie sieťovej architektúry systému založeného na protokole IP s výrazne zníženou hodnotou prenosového oneskorenia v porovnaní s architektúrou 3G. Bezdrôtové rozhranie LTE nie je kompatibilné so sieťami 2G a 3G, musí teda byť prevádzkované vo vlastnom rádiovom spektre.

Pre pochopenie hlavných trendov rozšírenej architektúry 3G je nutné zoznámiť sa s hlavnými krokmi evolúcie bezdrôtových sietí, počínajúc sieťami 2G.



Vývoj bezdrôtovej technológie

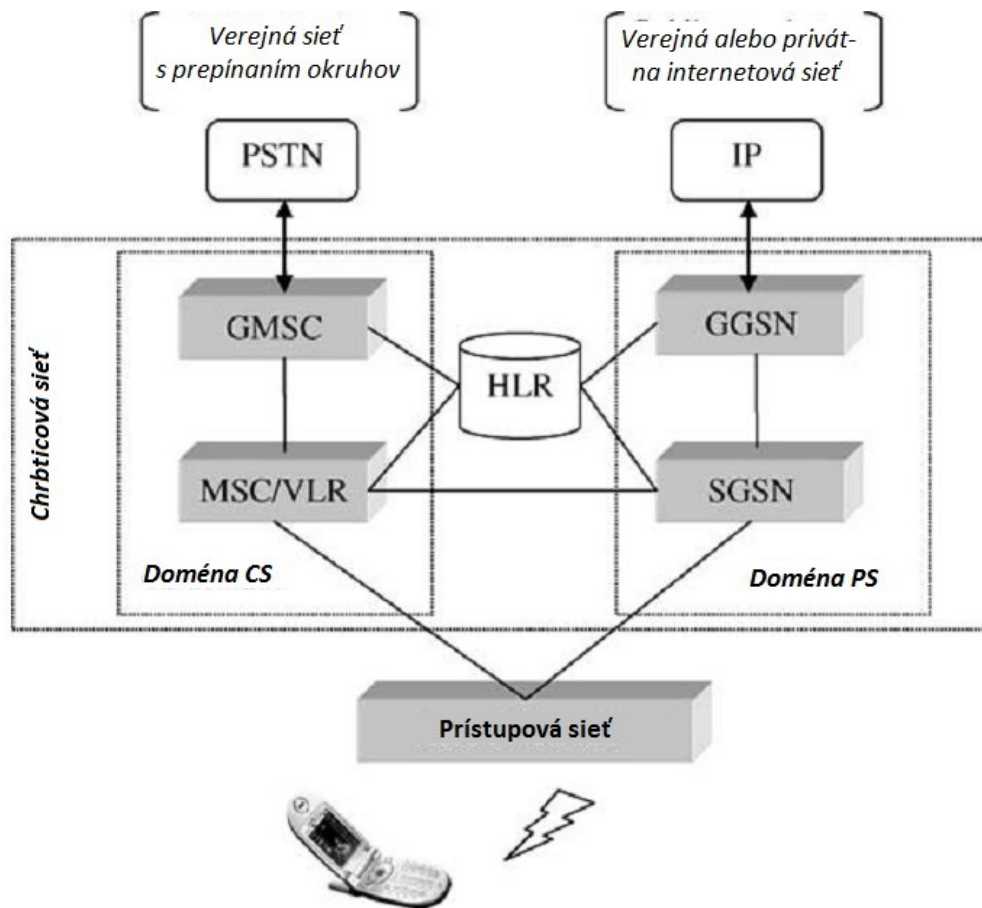
1.1 Architektúra sietí 2G

Mobilné siete 2. generácie (GSM) boli pôvodne navrhnuté primárne na prenos hlasu, t.j. pre služby s prepínaním okruhov. Z tohto dôvodu je architektúra týchto sietí pomerne jednoduchá a obsahuje dve hlavné časti:

- Prístupová sieť (*Access Network*), ktorá zahŕňa rádiové rozhranie, uzly v sieti a rozhrania medzi nimi. V prvých systémoch GSM bolo rádiové rozhranie navrhnuté a optimalizované na prenos hlasu alebo prenos dát nízkou prenosovou rýchlosťou.
- Chrbticová sieť (*Core Network*) obsahuje len doménu prepínania okruhov **CS** (*Circuit Switching*), ktorá podporuje služby založené na princípe prepínania okruhov (čo zahŕňa vytvorenie spojenia vrátane signalizácie, autentifikácie a zúčtovania) a spoluprácu s inými telefónnymi sieťami typu **PSTN** (*Public Switched Telephone Network*).

So vznikom IP a webových služieb boli do siete 2G pridané prvky na efektívnu podporu paketového prenosu dát:

- Prístupová sieť bola čiastočne prepracovaná tak, aby podporovala prenos paketov a spoločné schémy na pridelovanie zdrojov – technológie GPRS a EDGE.
- Do chrbticovej siete bola paralelne k časti CS pridaná časť na prepínanie paketov - **PS** (*Packet Switched*). Úlohou tejto novej časti je podpora prenosu paketov (vrátane autentifikácie a zúčtovania) a tiež podpora spolupráce s verejnými alebo súkromnými sieťami založenými na protokole IP.



Model siete 2G – Dvojitá chrbticová sieť

Časť CS sa skladá zo servera a **MSC/VLR** (*Mobile Switching Center/Visitor Location Register – Rádiatelefonná ústredňa/Databáza hosťujúcich účastníkov*), zabezpečujúcich vytvorenie spojenia, riadenie signalizácie hovoru a udržovanie informácie o polohe používateľov (tieto informácie sa obyčajne používajú na vyhľadanie používateľskej koncovkej stanice, za účelom vytvorenia používateľom požadovaného spojenia). Prvok **GMSC** (*Gateway MSC - Sieťová brána MSC*) je špeciálny typ MSC zabezpečujúci sprostredkovanie vzájomnej spolupráce s inými telefonnými sieťami typu PSTN.

Časť PS sa skladá z prvku **SGSN** (*Serving GPRS Support Node – Obslužný podporný uzol GPRS*), ktorý v podstate predstavuje MSC/VLR na prepínanie paketov a **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node – Podporný uzol brány*), ktorý je ekvivalentom GMSC na sprostredkovanie spolupráce s externými paketovými sieťami.

Obe časti PS a CS môžu byť prípadne prepojené medzi sebou. Tým sa zaistí konzistentnosť informácie o polohe používateľa uloženej v oboch častiach (PS a CS) a zároveň dôjde ku zníženiu objemu vzájomnej komunikácie.

Chrbticová sieť obsahuje prvok **HLR** (*Home Location Register – Databáza domácich účastníkov*), prístupná oboj častiam CS a PS. Prvok HLR je kľúčovou

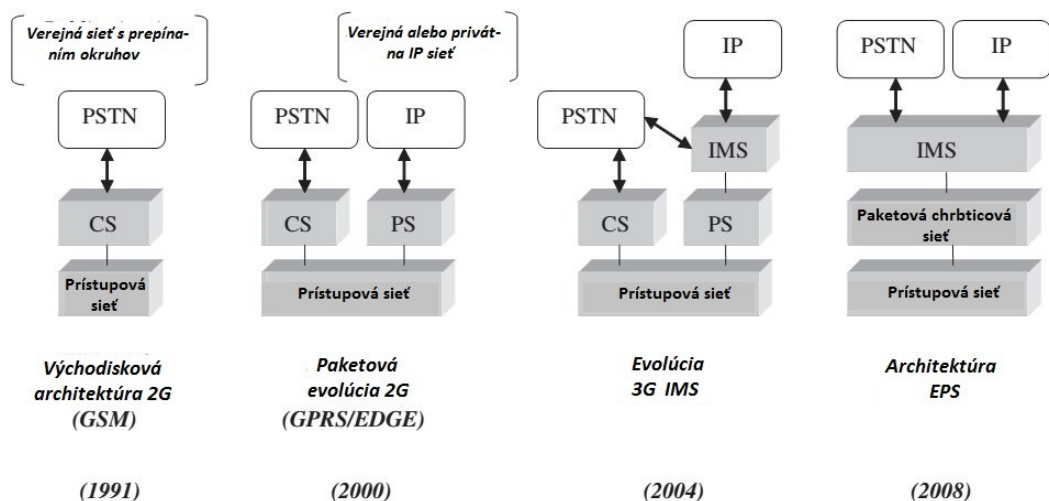
súčasťou sieťovej architektúry, nakoľko obsahuje všetky informácie týkajúce sa profilu používateľa.

1.2 Vývoj smerom k 3G a IMS

Zo systémového hľadiska bola východisková architektúra sietí 3G UMTS viac menej rovnaká ako u sietí 2G, nakoľko mala ako okruhovou tak aj paketovú chrbticovú sieť. Prípadne bola pridaná nová časť, **IMS** (*IP Multimedia Subsystem – Multimediálny subsystém s IP protokolom*), nad časťou PS.

Hlavným cieľom IMS bolo umožniť vytváranie štandardných služieb založených na protokole IP (ako napr. *Push-To-Talk*, *Presence* alebo *Instant Messaging*) a to jednotným spôsobom v celej sieti, podľa požiadaviek 3GPP. Interoperabilita služieb založených na IMS bola zaistená skutočnosťou, že IMS je postavený na flexibilných protokoloch vyvinutých IETF, ako napríklad **SIP** (*Session Initiation Protocol – Protokol inicializácie relácie*).

Okrem toho štandardný IMS ponúka podporu **VoIP** (*Voice over IP – Prenos hlasu pomocou IP*) a poskytuje prostriedky na spoluprácu s telefónnymi sieťami typu PSTN prostredníctvom signalizačných a mediálnych brán.



Vývoj sieťovej architektúry

Ako je znázornené na obrázku, je časť CS stále súčasťou architektúry 3G, spolu so štruktúrou PS/IMS. Hlavným dôvodom pre zachovanie časti CS bola potreba podporiť stále dominantné hovorové služby založené na prepínaní okruhov a súčasne podporovať videotelefonne služby založené na štandarde H.324M.

Architektúra IMS bola prezentovaná ako zaujímavý krok smerom k integrácii služieb. Z dôvodu nedostatku podpory pre plynulý prechod hlasových služieb medzi existujúcimi sieťami CS a IMS operátori telefónnych sietí zdržovali jej široké nasadenie a používanie ako spoločnej platformy pre všetky služby (vrátane hlasových, prenosu dát v reálnom čase a ostatných služieb). Na Slovensku sú služby v plnom rozsahu poskytované na báze platformy IMS.

1.3 Architektúra EPS

System **EPS** (*Evolved Packet System*), teda pokročilé siete UMTS, majú jasný cieľ integrovať všetky aplikácie prostredníctvom zjednodušenej a bežne používanej architektúry. Hlavné komponenty architektúry EPS sú nasledujúce:

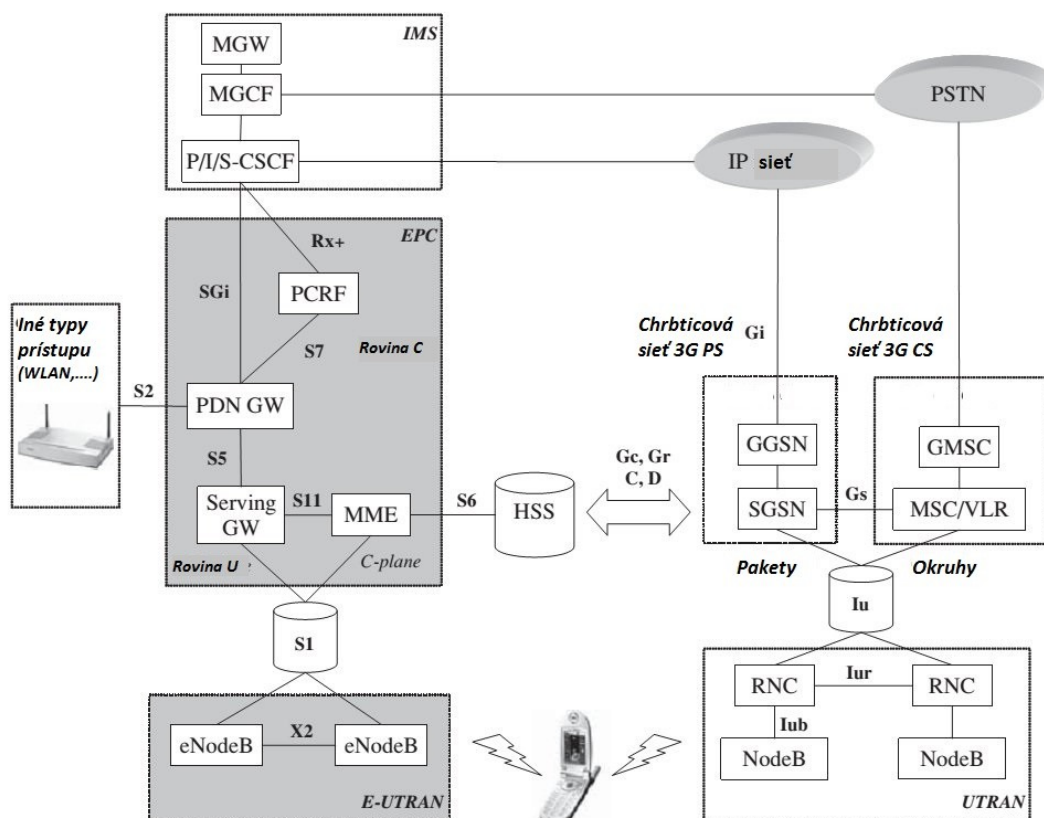
- Prístupová sieť je optimalizovaná na prenos IP paketov a podporuje podľa možnosti všetky typy služieb, ako aj služby podobné okruhovým CS, vyžadujúcim konštantné oneskorenie a konštantnú prenosovú rýchlosť.
- Zjednodušená chrbticová sieť má len jednu časť, ktorá podporuje všetky služby v paketovej podobe (založenú na IMS) a ktorá sprostredkováva komunikáciu s telefónnymi sieťami typu PSTN.

Časť CS už nie je zaradená, všetky aplikácie sú podporované prostredníctvom časti PS. To samozrejme vyžaduje špecifické uzly - brány (súčasťou architektúry IMS), ktoré konvertujú IP prevádzku do sietí PSTN s prepínaním okruhových.

Štandardizačné aktivity pri tvorbe Evolved UMTS boli prispôbené tak, aby i pri takomto zjednodušení siete bola zachovaná kontinuita telefónnych volaní medzi starými a novými systémami.

2 Topológia siete LTE

Nasledujúca schéma prehľadným spôsobom zobrazuje prvky v sieťovej infraštruktúre technológie LTE. Popisuje celkovú topológiu sietí LTE a UMTS, bloky **EPC** (*Evolved Packet Core – Pokročilá paketová chrbticová sieť*) a **E-UTRAN** (*Evolved UMTS Terrestrial Access Network - Pokročilá pozemná prístupová sieť UMTS*) a tiež ďalšie komponenty s cieľom ukázať ich vzájomné vzťahy.



Celková topológia siete LTE

Vývoj systému UMTS smerom k EPS charakterizujú bloky EPC a E-UTRAN.

Uvedené sú aj ďalšie bloky typické pre architektúru UMTS, také ako **UTRAN** (*UMTS Radio Access Network – Pozemná rádiová prístupová sieť UMTS*), chrbticové siete PS a CS, respektíve pripojené k verejným (alebo privátnym) IP a telefónnym sieťam.

Systém IMS je umiestnený v hornej časti nad blokom chrbticovej siete a zabezpečuje prístup do verejných alebo privátnych IP sietí a verejných telefónnych sietí prostredníctvom mediálnych sieťových brán. Blok HSS, ktorý riadi informácie o používateľovi, je zobrazený ako centrálny uzol, ktorý poskytuje služby pre všetky prvky chrbticovej siete EPC a 3G architektúry.

2.1 E-UTRAN

Historicky od UMTS

Od prvých vydaní štandardu UMT bola architektúra UTRAN v súlade s koncepciou prístupovej siete 2G/GSM. Všeobecná architektúra nadväzuje na starý dobrý „hviezdicový“ model siete 2G/GSM, ktorý predstavuje situáciu, pri ktorej jeden radič (**RNC**, *Radio Network Controller – Radič rádiovkej siete*) môže prípadne riadiť veľký počet (v reálnych sieťach typicky niekoľko stoviek) základňových staníc (NodeB) cez rozhranie Iub. Okrem toho bolo definované rozhranie Iur na komunikáciu medzi RNC, aby hovor prebiehajúci v UMTS bol ukotvený na úrovni RNC a makrodiverzita medzi rôznymi uzlami NodeB bola riadená rôznymi RNC.

Prvotná architektúra časti UTRAN mala za následok zjednodušenie implementácie uzlov NodeB a pomerne zložitý, citlivý, vysokokapacitný a funkčne náročný návrh systému RNC. V tomto modeli musí RNC podporovať jednak funkcie riadenia zdrojov a prevádzky, ako aj významnú časť rádiových protokolov.

Uzly eNodeB

V porovnaní s UTRAN má E-UTRAN pomerne jednoduchú štruktúru. Skladá sa len z jedného sieťového prvku: **eNodeB** (*evolved Node B*). Radič RNC zdedený od 2G sietí ako **BSC** (*Base Station Controller – Ovládač základňovej stanice*) bol z E-UTRAN vyradený a eNodeB je priamo pripojený ku chrbticovej sieti pomocou rozhrania S1. V dôsledku toho boli funkcie RNC distribuované medzi eNodeB alebo MME v chrbticovej sieti, alebo Serving Gateway (Obslužná brána).

Funkcie eNodeB

Z hľadiska vzdialenej perspektívy nová architektúra časti E-UTRAN v skutočnosti smeruje k bezdrôtovým sieťam **WLAN** (*Wireless LAN*) a konceptu základňových staníc definovaných vo WiFi alebo WiMAX.

Funkčná definícia eNodeB (ako WLAN prístupových bodov) musí teda podporovať všetky vlastnosti vrstiev L1 a L2 priradených k fyzickému rozhraniu a tak sú priamo pripojené k sieťovým smerovačom. Neexistuje žiadny ďalší medzilahý riadiaci uzol (ako to bolo v 2G/3G). Výhodou je jednoduchšia sieťová architektúra (menej uzlov rôznych typov, čo znamená zjednodušenú prevádzku siete) a umožňuje to lepšiu výkonnosť rádiového rozhrania.

Z funkčného hľadiska podporuje eNodeB rad bežných funkcií súvisiacich s procedúrami fyzickej vrstvy, ktoré definujú vysielanie a príjem cez rádiové rozhranie:

- Modulácia a demodulácia,
- Kanálové kódovanie a dekódovanie.

Okrem toho obsahuje eNodeB ďalšie funkcie vychádzajúce zo skutočnosti, že v architektúre E-UTRAN neexistujú žiadne ďalšie radiče základňových staníc. Tieto vlastnosti, ktoré sú ďalej popísané v kapitole 4, zahŕňajú nasledujúce:

- Riadenie rádiových zdrojov (Radio Resource Control): alokáciu, úpravy a uvoľňovanie zdrojov na prenos rádiovým rozhraním medzi používateľským terminálom a eNodeB.
- Riadenie rádiovej mobility (Radio Mobility Management): spracovanie meraní a rozhodnutie o prepnutí spojenia.
- Plná podpora protokolov L2 na rádiovom rozhraní (Radio interface full L2 protocol): Účelom 2. vrstvy modelu OSI je zaistiť prenos dát medzi sieťovými jednotkami, detekovať a prípadne opraviť chyby, ktoré môžu nastať pri prenose dát na fyzickej vrstve.

2.2 EPC a jeho zložky

Jadro siete **EPC** (*Evolved Packet Core*) sa skladá z niekoľkých funkčných entít:

- **MME** (*Mobility Management Entity – Entita riadenia mobility*)
- **HSS** (*Home Subscriber Server – Server domácich účastníkov*)
- **Obslužná brána** (*Serving Gateway*)
- **Brána PDN** (*Packet Data Network – Sieť paketového prenosu*)
- **Server PCRF** (*Policy and Charging Rules Function – Funkcie pravidiel stratégie a tarifkácie*)

Entita riadenia mobility MME

Entita MME má na starosti všetky funkcie roviny riadenia súvisiace s riadením účastníka a spojenia. Z tohto hľadiska MME podporuje:

- Bezpečnostné postupy, súvisiace s autentifikáciou koncového používateľa, ako aj s algoritmami iniciovania, dohodnutia šifrovacích algoritmov a ochranou integrity.
- Riadenie spojenia v smere terminál-sieť – súvisí to so signalizačnými postupmi používanými na nastavenie kontextu prenosu dát a dohodnutím priradených parametrov, takých ako kvalita služby.
- Manažovanie lokalizácie terminálu v kludovom režime – súvisí to so sledovaním procesu aktualizácie oblasti, aby sieť bola schopná spojiť sa s terminálmi v prípade prichádzajúceho volania.

Entita MME je s entitou HSS spojená rozhraním S6, ktoré podporuje databázu obsahujúcu všetky informácie o účastníkoch.

Server domácich účastníkov HSS

Entita HSS je centrálnou databázou, ktorá vznikla zlúčením HLR a **AuC** (*Authentication Center – Centrum autentifikácie*), dvoch blokov, ktoré už boli v sieťach 2G a 3G. HSS má na starosti uloženie a aktualizáciu databázy informácií o používateľovi, obsahuje najmä:

- Identifikáciu a pridelenie čísla používateľovi: **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity – Medzinárodná identita mobilného používateľa*) a **MSISDN** (*Mobile Subscriber ISDN Number – ISDN číslo mobilného používateľa*) alebo mobilného telefónneho čísla.
- Informáciu o profile používateľa: Zahŕňa triedy objednanej služby a informáciu o kvalite služby objednanej používateľom (ako je maximálne prípustná prenosová rýchlosť alebo prípustné triedy prevádzky).

Do HSS je tiež začlenené centrum autentifikácie (AUC), ktoré generuje vektory na autentifikáciu a zabezpečovacie kľúče. Tieto bezpečnostné informácie sú ďalej poskytované časti HLR a následne oznámené iným subjektom v sieti. Zabezpečovacia informácia sa používa hlavne pre:

- Vzájomnú autentifikáciu sieť - terminál.
- Šifrovanie rádiového prenosu a ochranu integrity, aby sa zaistilo, že prenos dát a signalizácie medzi sieťou a terminálom nie je ani odpočúvaný ani zmenený.

Obslužná brána – Serving GW

Z funkčného hľadiska je Serving GW koncovým bodom dátovej prevádzky smerom k E-UTRAN. Keď sa terminál pohybuje v E-UTRAN cez uzly eNodeB, zodpovedá Serving GW za mobilitu, čo znamená, že pakety sú smerované cez tento bod pri pohybe v rámci E-UTRAN i pri spojení s ďalšími technológiami 3GPP, ako je 2G / GSM a 3G / UMTS.

PDN GW (Packet Data Network Gateway – Sieťová brána paketovej dátovej siete)

Podobne ako Serving GW je PDN GW koncovým bodom dátovej prevádzky smerom k iným paketovým sieťam. Ako oporný bod pre relácie smerom k externým paketovým dátovým sieťam PDN GW tiež podporuje stratégiu vynucovania vlastností (na ktoré sa vzťahujú pravidlá stanovené prevádzkovateľom), filtrovanie paketov (ako hĺbkovú kontrolu paketov pre detekovanie vírusov) a pokročilú podporu tarifkácie (podobné tarifkácii podľa URL).

Server PCRF (Policy and Charging Rules Function)

Server PCRF je zodpovedný za rozhodovanie postupu riadenia a tiež funkcionality tarifkácie založenej na toku pre funkciu presadenia postupu riadenia PCEF (Policy Control Enforcement Function). PCRF autorizuje QoS (identifikátor triedy QoS a prenosové rýchlosti), rozhoduje ako bude určitý dátový tok spracovaný v **PCEF** a zaisťuje, že je to v súlade s profilom používateľa.

Server PCRF kombinuje funkcie dvoch uzlov zo štruktúry UMTS:

- **PDF** (*Policy Decision Function* – Funkcia postupu rozhodovania)
- **CRF** (*Charging Rules Function* – Funkcia pravidiel tarifkácie)

Entita PDF je rozhodovací prvok v sieti, ktorý rozhoduje o pridelení typu médií. Vo fáze výstavby spojenia podľa postupov IMS sú medzi terminálom a P-CSCF vymieňané signalizačné správy SIP signalizácie obsahujúce požiadavky média. PDF prijíma tieto požiadavky z P-CSCF a robí rozhodnutia založené na pravidlách prevádzkovateľa siete, ako napríklad:

- Povolenie alebo zamietnutie žiadosti média.

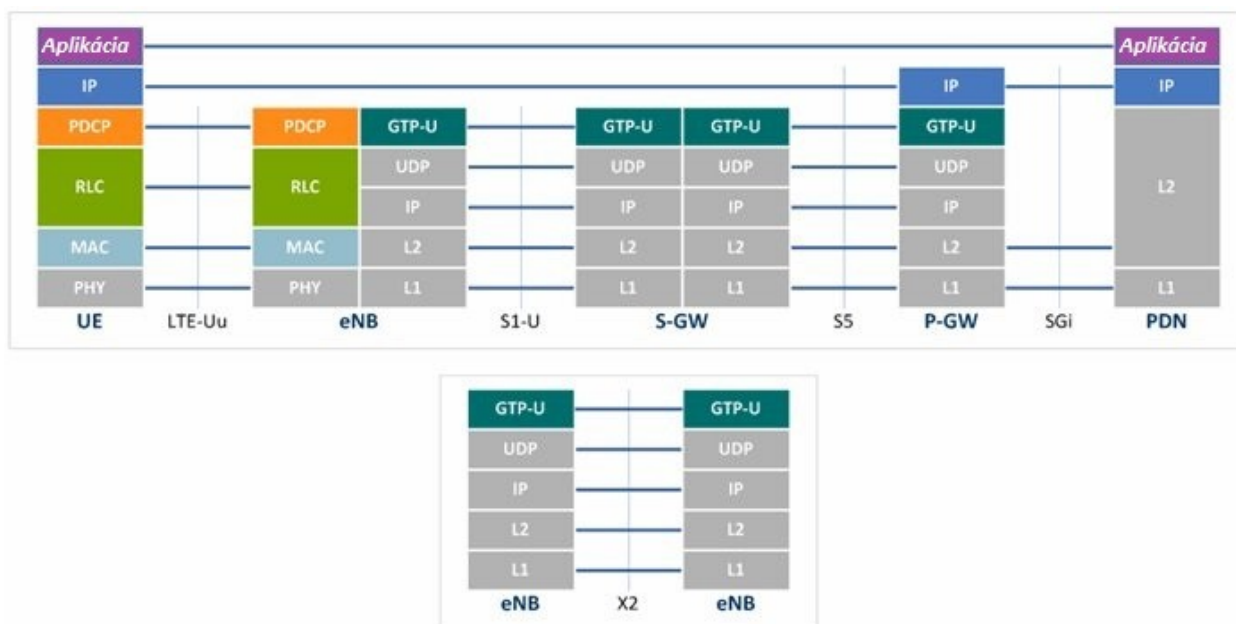
- Použitie nového alebo existujúceho PDP kontextu pre prichádzajúcu požiadavku média.
- Kontrolu pridelenia nových zdrojov voči maximálne oprávneným.

Úlohou CRF je zaistiť prevádzkovateľom stanovené pravidlá tarifkácie a aplikovať ich na každý dátový tok. CRF vyberie príslušné pravidlá tarifkácie na základe informácii poskytnutých od P-CSCF, ako je identifikátor aplikácie, typ toku (audio, video, atd.), prenosová rýchlosť aplikácie, atď.

3 Protokolová architektúra LTE

Nasledujúci obrázok znázorňuje používateľskú a riadiacu rovinu protokolovej architektúry LTE. Funkcie hlavných vrstiev sú stručne popísané nižšie.

3.1 Protokoly pre používateľskú rovinu LTE



Protokoly pre používateľskú rovinu LTE

PDCP: Protokol PDCP zaisťuje efektívny prenos IP paketov rádiovým spojom. Uskutočňuje kompresiu záhlaví, zabezpečenie prístupovej vrstvy (šifrovanie a ochrana integrity) a preskupenie alebo opakovaný prenos paketov pri prepnutí spojenia.

RLC: Na vysielacej strane protokol RLC vytvára RLC PDU a poskytuje ju vrstve MAC. Protokol RLC uskutočňuje segmentáciu alebo zreťazenie PDCP PDU počas vytvárania RLC PDU. Na prijímacej strane uskutočňuje protokol RLC preusporiadanie RLC PDU a rekonštruuje PDCP PDU. Protokol RLC má tri prevádzkové režimy (transparentný, potvrdzovaný a nepotvrdzovaný) a každý z nich ponúka rôzne úrovne spoľahlivosti. Uskutočňuje tiež preusporiadanie a opakovaný prenos paketov (RLC PDU).

MAC: Vrstva MAC leží medzi vrstvami RLC a PHY. Je pripojená k vrstve RLC prostredníctvom logických kanálov a k vrstve PHY prostredníctvom transportných kanálov. Preto protokol MAC podporuje multiplexovanie a demultiplexovanie medzi logickými a prenosovými kanálmi. Vyššie vrstvy využívajú rôzne logické kanály pre rôzne metriky QoS. Protokol MAC podporuje QoS pomocou plánovania a uprednostňovania dát z logických kanálov. Plánovač eNB zaisťuje dynamické pridelenie rádiových zdrojov koncovým uzlom UE, uskutočňuje riadenie QoS a zaisťuje, aby každá nosná frekvencia mala pridelené dojednané parametre QoS.

PHY: Fyzická vrstva zabezpečuje základné funkcie bitového prenosu bezdrôtovým rozhraním. V zostupnom smere používa OFDMA a vo vzostupnom smere SC-FDMA. Fyzické kanály sú dynamicky mapované podľa dostupných zdrojov. Smerom k vyšším vrstvám ponúka fyzická vrstva svoje funkcie pre prenos dát prenosovými kanálmi. Rovnako ako v UMTS je transportný kanál blokovo orientovaná prenosová služba s určitými charakteristikami, čo sa týka prenosovej

rýchlosti, oneskorenia, rizika kolízie a spoľahlivosti. Na rozdiel od 3G WCDMA alebo dokonca 2G GSM už neexistujú žiadne vyhradené transportné alebo fyzické kanály, lebo mapovanie všetkých zdrojov je dynamicky riadené plánovačom.

GTP-U: Protokol GTP-U je používaný na odosielanie používateľských IP paketov cez rozhrania S1-U, S5 a X2. Keď je vytvorený tunel GTP na odosielanie dát, pri prepínaní LTE je ako posledný paket cez tunel GTP prenesený paket značky konca.

3.2 Protokoly pre riadiacu rovinu LTE



Protokoly pre riadiacu rovinu LTE

NAS: Protokol NAS uskutočňuje riadenie mobility a funkcií riadenia nosných frekvencií.

RRC: Protokol RRC zabezpečuje prenos signalizácie NAS. Uskutočňuje tiež funkcie potrebné na efektívne riadenie rádiových zdrojov. Hlavné funkcie sú nasledujúce:

- Systémové informácie o vysielaní
- Nastavenie, rekonfigurácia, obnovenie, uvoľnenie pripojenia RRC
- Nastavenie, modifikácia a uvoľnenie rádiovkej nosnej

X2AP: Protokol X2AP zaisťuje mobilitu UE a funkcie SON v rámci E-UTRAN. Na zaistenie mobility UE ponúka protokol X2AP funkcie ako presmerovanie používateľských dát, prenos stavu SN a uvoľnenie kontextu UE. Na zabezpečenie funkcií SON ponúka informácie o stave prostriedkov výmeny eNB, informácie o prevádzkovom zaťažení a informácie o aktualizácii konfigurácie eNB. Ďalej koordinuje parametre mobility.

S1AP: Protokol S1AP zaisťuje funkcie riadenia rozhrania S1, riadenia E-RAB, prenos signalizácie NAS a manažovanie kontextu UE. Sprostredkováva prvotný kontext UE smerom k eNB pre nastavenie E-RAB a potom riadi následné zmeny alebo jeho uvoľnenie.

GTP-C: Protokol GTP-C zaisťuje výmenu riadiacich informácií na vytváranie, úpravu a ukončenie tunelov GTP. V prípade prepnutia spojenia v LTE vytvára tunely pre prenášané dáta.

4 Fyzické a logické kanály v LTE

Rovnako ako väčšina rádiokomunikačných systémov čelí rádiové rozhranie E-UTRAN mnohým výzvam. V zmysle požiadaviek musí byť E-UTRAN schopné prenášať informáciu vysokou rýchlosťou a malým oneskorením čo najefektívnejším spôsobom. Navyše nie všetky informačné toky vyžadujú rovnakú ochranu proti chybám pri prenose alebo zabezpečenie kvality služby.

Všeobecne sa dá povedať, že v prípade rádiovkej mobility je rozhodujúce, aby signalizačné správy E-UTRAN boli prenášané tak rýchlo, ako je to len možné a s použitím najlepšej ochrany proti chybám. Z druhej strany hlasové alebo streamingové dátové aplikácie môžu pri rádiovom prenose akceptovať mierne straty rámcov. Interaktívne spojovo orientované aplikácie (ako je vyhľadávanie na webe) sú ale odlišné, pretože opakovaný prenos koniec-koniec umožňuje eliminovať problémy spôsobené šírením rádiových vln.

Aby sa zabezpečila pružnosť a možnosť rôznych režimov prenosu dát, zavádzajú špecifikácie E-UTRAN niekoľko typov kanálov:

- Logické kanály – čo sa prenáša
- Transportné kanály – ako sa prenáša
- Fyzické kanály

Logické kanály zodpovedajú službám prenosu dát ponúkaným protokolmi rádiového rozhrania do vyšších vrstiev. V podstate existujú len dva typy logických kanálov: Riadiace kanály (na prenos informácií rovne riadenia) a prevádzkové kanály (na prenos informácie v používateľskej rovne). Každý z týchto kanálov zodpovedá určitému typu informačného toku.

Transportné kanály popisujú, ako a s akými charakteristikami sú prenášané dáta cez rádiové rozhranie. Napríklad transportné kanály popisujú, ako sú dáta chránené proti chybám pri prenose, typ kanálového kódovania, zabezpečenie CRC, typ použitého prekladania, veľkosti dátových paketov odosielaných cez rádiové rozhranie, atď.

Transportné kanály sú rozdelené do dvoch kategórií:

- Transportné kanály zostupného spoja (smer od siete do terminálu) a
- Transportné kanály vzostupného spoja (smer od terminálu do siete).

Fyzické kanály sú skutočné realizácie transportného kanála cez rádiové rozhranie. Sú známe len na fyzickej vrstve E-UTRAN a ich štruktúra závisí od fyzikálnych vlastností rozhrania OFDM.

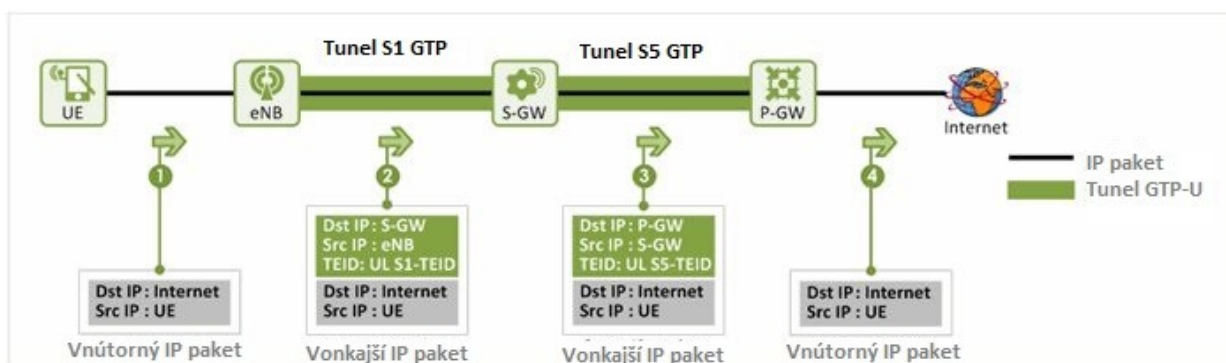
5 Intenzita prevádzky v sieti LTE

Nasledujúci obrázok ukazuje intenzitu prevádzky v používateľskej rovine pri prístupe k internetu v referenčnej architektúre siete LTE.

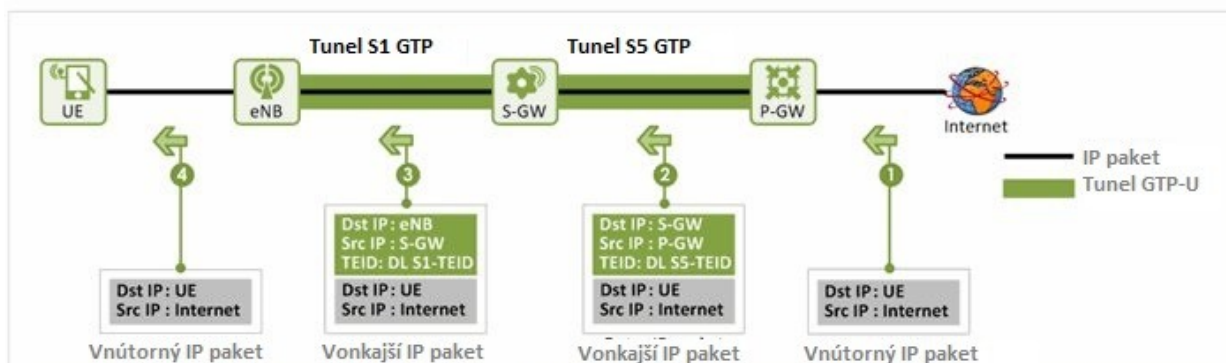
IP pakety sú odosielané cez tunel GTP do rozhraní S1-U a S5. Keď je používateľ pripojený k sieti LTE, je pre každú službu EPS vytvorený vlastný tunel GTP.

Na každom rozhraní S1-U a S5 je vytvorená viac ako jedna služba EPS. Za účelom identifikácie týchto nosných kanálov je koncovým bodom (UL a DL) pridelený identifikátor **TEID** (*Tunnel Endpoint Identifier – Identifikátor koncového bodu tunela*). Pri identifikácii tunela GTP sú obvyčajne použité TEID, IP adresa a číslo portu.

Pre jednoduchosť popisu sa tu navyše používa len TEID. Prijímajúca koncová strana tunela GTP lokálne priradí hodnotu TEID, ktorú má vysielacia strana použiť. Hodnoty TEID si potom koncové body tunela vzájomne vymenia pomocou protokolov roviny riadenia.



(a) Od UE do internetu



(b) Od internetu do UE

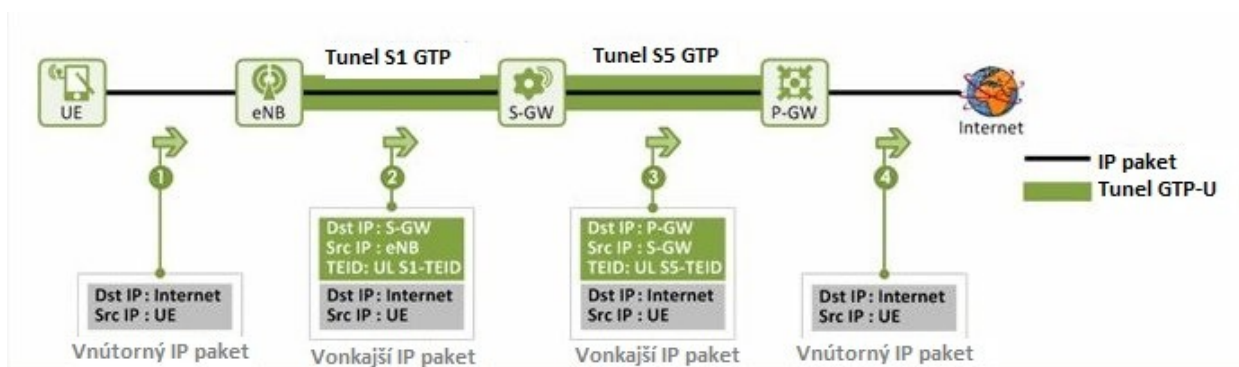
Intenzita prevádzky v sieti LTE

Keď je na rozhraní S1-U vytvorený tunel GTP, S-GW priradí TEID (UL S1-TEID na obrázku (a) pre vzostupnú prevádzku a eNB priradí TEID (DL S1-TEID na obrázku (b)) pre zostupnú prevádzku. Hodnoty TEID z S1 tunela GTP si vzájomne vymenia eNB a S-GW pomocou správ S1AP a GTP-C.

Podobne, keď je na rozhraní S5 vytvorený tunel GTP, P-GW priradí TEID (UL S5-TEID na obrázku (a)) pre vzostupnú prevádzku a S-GW priradí TEID (DL S5-TEID na obrázku (b)) pre zostupnú prevádzku. Hodnoty TEID z S5 tunela GTP si vzájomne vymenia S-GW a P-GW pomocou protokolu GTP-C.

Keď je používateľský IP paket prostredníctvom tunela GTP doručený na rozhrania S1-U a S5, entity eNB, S-GW a P-GW ho odošlú po zapuzdrení s hodnotou TEID pridelenou prijímajúcej strane rovnocennej entity GTP. Vo vzostupnom smere vytvorí S-GW jednoduché mapovanie medzi tunelom S1 GTP (UL S1-TEID) a tunelom S5 GTP (UL S5-TEID) na uzavretie tunela S1 GTP a odoslanie používateľského IP paketu do tunela S5 GTP.

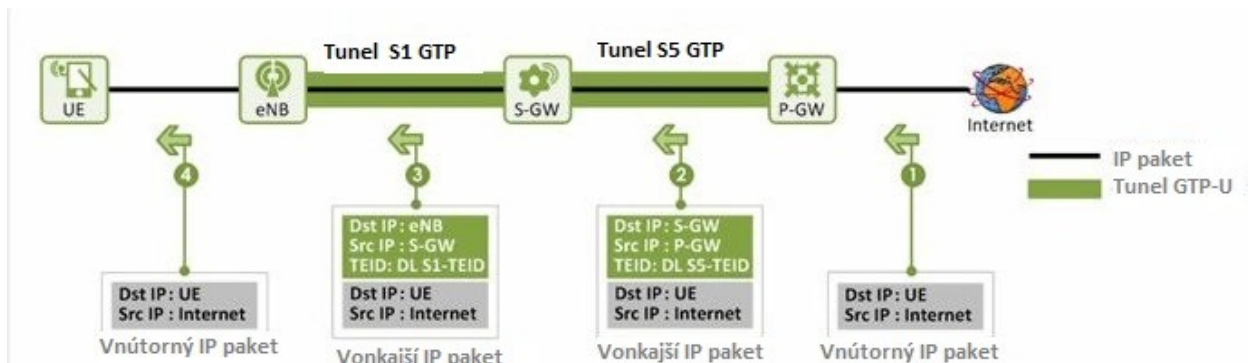
5.1 Intenzita prevádzky vo vzostupnom spoji



Intenzita prevádzky z UE do Internetu

1. UE odosiela používateľské IP pakety do eNB cez rozhranie LTE-UU.
2. eNB zapuzdrí používateľské IP pakety so záhlavím tunela S1 GTP a odošle s výslednými vonkajšími IP paketmi na S-GW. Tam eNB vyberie hodnoty "TEID" (UL S1-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa S-GW) a "Source IP address" na vytvorenie záhlavia tunela S1 GTP.
3. Po prijatí vonkajších IP paketov odoberie S-GW záhlavie tunela S1 GTP, zapuzdrí používateľské IP pakety (vnútorné IP pakety) záhlavím tunela S5 GTP a odošle výsledné vonkajšie IP pakety na P-GW. S-GW vyberie hodnoty "TEID" (UL S5-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa P-GW) a "Source IP Address" (IP adresa S-GW) na vytvorenie záhlavia tunela S5 GTP.
4. Po prijatí vonkajších IP paketov odoberie P-GW záhlavie tunela S5 GTP a tým dostane používateľské IP pakety, ktoré prenesie do internetu prostredníctvom štandardného smerovania.

5.2 Intenzita prevádzky v zostupnom spoji



Intenzita prevádzky z internetu do UE

1. P-GW prijme z internetu IP pakety určené pre UE.
2. P-GW zapuzdrí používateľské IP pakety záhlavím tunela S5 GTP a odošle výsledné vonkajšie IP pakety do S-GW. P-GW vyberie hodnoty "TEID" (DL S5-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa S-GW) a "Source IP address" (IP adresa P-GW) na vytvorenie záhlavia tunela S5 GTP.
3. Po prijatí vonkajších IP paketov S-GW odoberie záhlavie tunela S5 GTP, zapuzdrí používateľské IP pakety (vnútorné IP pakety) záhlavím tunela S1 GTP a odošle výsledné vonkajšie IP pakety do eNB. S-GW vyberie hodnoty "TEID" (DL S1-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa eNB) a "Source IP Address" (IP adresa S-GW) na vytvorenie záhlavia tunela S1 GTP.
4. Po prijatí vonkajších IP paketov odoberie eNB záhlavie tunela S1 GTP a tým dostane používateľské IP pakety, ktoré prenesie do UE prostredníctvom rádiového rozhrania.

6 Prenos hlasu sieťou LTE

Štandard LTE podporuje len technológiu prepínania paketov v IP sieťach. Chýbajúca technológia prepínania okruhov spôsobuje určité problémy prenosu hlasu sieťou LTE.

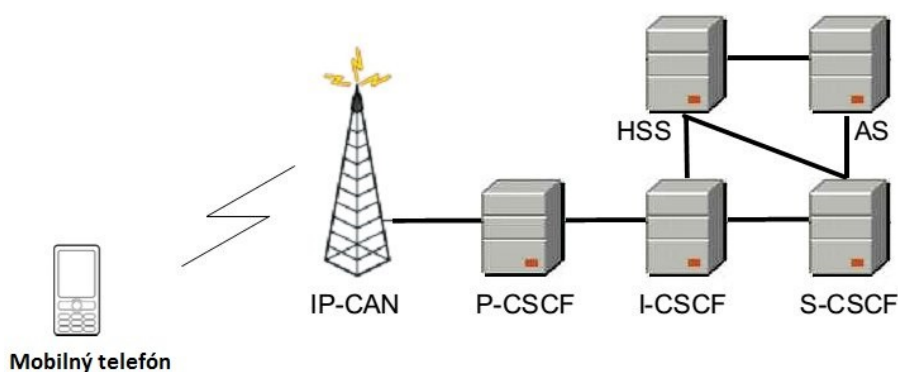
Nakoľko hovorové volaniach v sieťach GSM, UMTS a CDMA2000 sú realizované technológiou prepínania okruhov, preto prijatím LTE budú musieť vlastníci sietí hodlajúci poskytovať hovorové služby preorganizovať svoj prístup k prenosu hlasu. Majú k dispozícii celkom tri rôzne modely riešenia:

- VoLTE (Voice over LTE – Hlas cez LTE)
- CSFB (Circuit-switched fallback – Záložný prepínaný okruh)
- SVLTE (Simultaneous voice and LTE – Simultánne hlas a LTE)

6.1 Hlas cez LTE

Hlasová komunikácia je v LTE prirodzene podporovaná len pomocou služby IMS so špecifickými profilmi v riadiacej a mediálnej rovine.

IMS je prístupovo nezávislý prekryv cez existujúce sieťové architektúry, ktorý zaručuje spojitú pokračovanie služieb, nielen hlasových ale aj videoaplikácií. Prvá verzia IMS bola štandardizovaná v 3GPP, vydanie 5, mnoho vylepšení potom prišlo v nasledujúcich vydaniach. IMS je nutné implementovať jednak na strane siete a tiež i na strane koncového zariadenia. Uvedenie IMS na komerčný trh bolo pomalšie ako sa pôvodne očakávalo.



Subsystém IMS v LTE

V sieti LTE je časť **IP-CAN IP** (*Connectivity Access Network – Prepojiteľná prístupová sieť*) vytvorená z EPS a E-UTRAN.

Základnými komponentmi IMS sú servery s funkciami riadenia stavu volania **CSCF** (*Call State Control Function*). Definované sú tri CSCF:

- **P-CSCF** (*Proxy Call State Control Function – Náhradná riadiaca funkcia stavu volania*): P-CSCF server je medzi používateľom a sieťou. Výmena signalizačných správ protokolu SIP prebieha medzi používateľom a sieťou vždy cez P-CSCF bez ohľadu na to, či je doma alebo navštívil sieť.
- **I-CSCF** (*Interrogating Call State Control Function – Dopytovacia riadiaca funkcia stavu volania*) je použitá na odosielanie prvej požiadavky SIP do S-CSCF, keď iniciátor nevie, ktorý S-CSCF môže prijať požiadavku.
- **S-CSCF** (*Serving Call State Control Function – Účastnícka riadiaca funkcia stavu volania*): S-CSCF uskutočňuje rôzne akcie v rámci celého systému, má rad rozhraní na komunikáciu s ostatnými prvkami v sieti.

HSS (*Home Subscriber Server – Server domácich účastníkov*) je hlavná databáza účastníkov v IMS. Sprostredkuje informácie o účastníkoch ostatným prvkom v sieti IMS, umožňuje používateľom prístup v závislosti od ich stavu.

AS (*Application Server – Aplikačný sever*) poskytuje špecifické IP aplikácie, ako je posielanie správ.

Účastnícky S-CSCF v domácej sieti zodpovedá za IMS hovory v sieti LTE. Spojenie s S-CSCF je sprostredkované cez P-CSCF. Kľúčovým prvkom pre schopnosti zostaviť spojenie je postup sprístupnenia P-CSCF, ktorý ďalej rieši v závislosti od použitej siete a lokalizácie v sieti.

Kontinuita hlasového spojenia vyžaduje, aby bolo zaistené prepnutie na staršie technológie, ako je GSM. Toto sa dosahuje funkciou nazývanou **SRVCC** (*Single Radio Voice Call Continuity – Jednoduchá kontinuita rádiového hlasového volania*).

6.2 CSFB – Záložný prepínaný okruh

Model **CSFB** (*Circuit-Switched FallBack*) musí byť použitý v prípade, že služby IMS nie sú v sieti implementované a/alebo LTE poskytuje len dátové služby. Ak má byť hovor zahájený, bude realizovaný v doméne s prepínaním okruhových, teda v pôvodnej technológii 2G alebo 3G.

Pri použití tohto riešenia operátori len aktualizujú MSC namiesto nasadenia celého IMS. Nevýhodou je väčšie oneskorenie pri výstavbe spojenia.

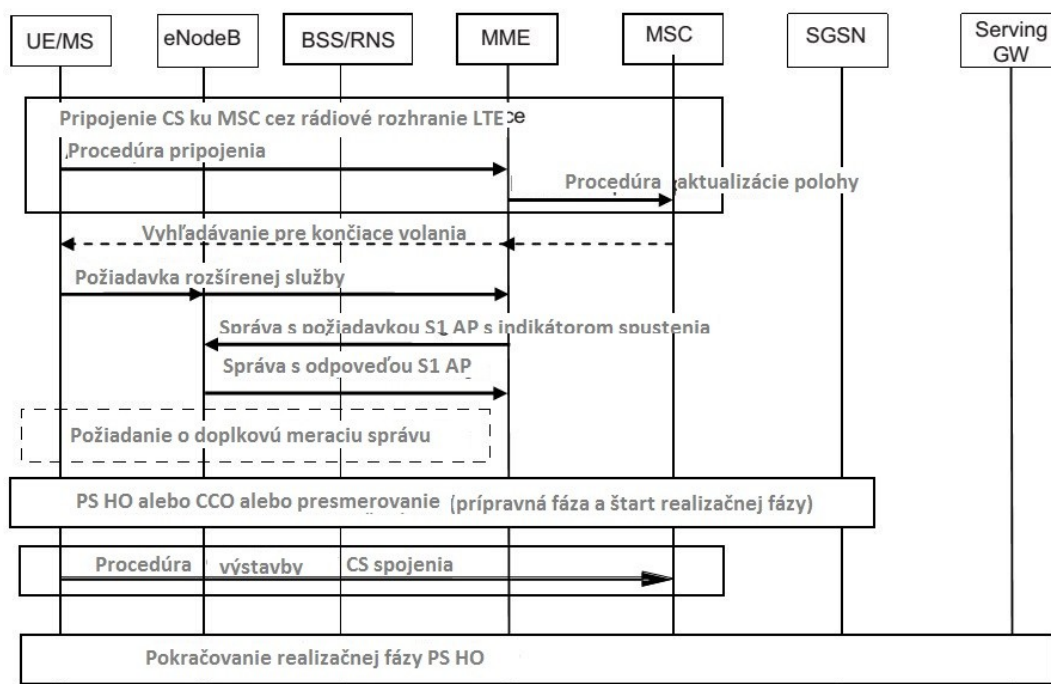


Diagram postupnosti správ pre CSFB z LTE do UMTS

Obrázok ukazuje tok správ pre volanie CSFB z LTE do UMTS. Znárodné je aj vyhľadávanie od MSC cez rozhrania SG a MME v prípade hovorov končiacich na UE. Správa *Extended Service Request* odoslaná z UE do MME spúšťa buď prepnutie spojenia alebo presmerovanie do cieľovej technológii rádiového prístupu.

6.3 SVLTE - Simultánne hlas a LTE

V tomto modeli pracuje používateľský terminál súčasne v LTE a v režime s prepínaním okruhov (CS), pričom režim LTE poskytuje dátové služby a režim CS poskytuje hovorové služby.

Jedná sa o riešenie založené na schopnostiach telefónneho prístroja, ktorý nemá zvláštne požiadavky na sieť a ani nevyžaduje zavádzanie služieb IMS. Nevýhodou tohto riešenia je, že telefón môže byť drahý a s vysokou spotrebou energie.

Ďalším modelom ako v sieti LTE poskytovať hovorové služby je použitie tzv. služieb over-the-top (OTT) s využitím aplikácií ako je Skype a Google Talk. Tento model však nie je iniciovaný operátormi.

7 Kvalita služby v LTE

V typickom prípade môže byť spustených v UE viac aplikácií súbežne. Každá z nich bude mať rôzne požiadavky na QoS. Napríklad UE môže byť zapojený do VoIP hovoru, kým v rovnakom čase si používateľ prezerá webové stránky alebo sťahuje súbory cez FTP. VoIP má prísnejšie požiadavky na QoS, čo sa týka oneskorenia a džitera ako prezeranie webových stránok a FTP, kým prenosy dát vyžadujú omnoho nižšiu stratovosť paketov. Za účelom podpory viacerých požiadaviek na QoS sú v EPS nastavené rôzne nosné, každá z nich súvisí s QoS.

Na základe typu QoS, ktorú poskytujú, je možné nosné rozdeliť na dve kategórie:

- **GBR** (*Guaranteed Bit Rate – Garantovaná bitová rýchlosť*) nosné môžu byť použité pre aplikácie, ako je hovor. Majú priradenú hodnotu GBR, pre ktorú sú trvale pridelené špecifické prenosové prostriedky (napr. funkcie na riadenie prístupu do eNodeB). Prenosové rýchlosti vyššie ako GBR môžu byť pre GBR nosné povolené, ak sú k dispozícii zdroje. V takýchto prípadoch parameter maximálnej prenosovej rýchlosti **MBR** (*Maximum Bit Rate – Maximálna bitová rýchlosť*) stanoví hornú hranicu prenosovej rýchlosti.
- Nosné bez GBR nezaručujú žiadnu konkrétnu prenosovú rýchlosť. Tieto môžu byť použité pre aplikácie ako je prezeranie webu alebo FTP prenos. Týmto nosným nie sú trvale pridelené zdroje šírky pásma.

V prístupovej sieti je eNodeB zodpovedný za zabezpečenie splnenia potrebnej triedy QoS pre nosné. Každá nosná má priradený identifikátor triedy **QCI** (*Class Identifier*) a prioritu **ARP** (*Allocation and Retention Priority – Stanovenie a zachovanie priority*).

Každý QCI je charakterizovaný prioritou, množstvom oneskorených paketov a prijateľnou stratovosťou paketov. Značka QCI pre nosnú určuje spôsob, akým je spracovaná v eNodeB. Štandardizovaný bol len tucet takýchto QCI a tak výrobcovia môžu rovnako chápať základné charakteristiky služieb, poskytnutie príslušného spracovania, vrátane manažmentu front, úpravy a stratégie. Tým je zaistené, že prevádzkovateľ LTE môže očakávať jednotné zachádzanie s prevádzkou v celej sieti bez ohľadu na výrobcu zariadení eNodeB. Súbor štandardizovaných identifikátorov QCI s charakteristikami, z ktorých sa volí PCRF v EPS, je uvedený v nasledujúcej tabuľke.

Štandardizované triedy identifikátorov QoS (QCI) v LTE

QCI	Typ zdroja	Priorita	Oneskorenie paketov (ms)	Stratovosť paketov	Príklad služby
1	GBR	2	100	10-2	Konverzačné videohovory
2	GBR	4	150	10-3	Konverzačné videohovory (živé vysielanie)
3	GBR	5	300	10-6	Nekonverzačné videohovory (vysielanie zo záznamu)
4	GBR	3	50	10-3	Hry v režime reálneho času
5	Non-GBR	1	100	10-6	Signalizácia IMS
6	Non-GBR	7	100	10-3	Hovor, video (živé vysielanie), interaktívne hranie
7	Non-GBR	6	300	10-6	Video (vysielanie zo záznamu)
8	Non-GBR	8	300	10-6	služby založené na TCP (WWW, e-mail, chat, FTP, zdieľanie súborov ...)
9	Non-GBR	9	300	10-6	

Spôsob, akým plánovač v MAC spracováva pakety odoslané pomocou nosnej (napr. z hľadiska stratégie rozvrhovania, stratégie riadenia front a tvarovania rýchlosti) je daný konfiguráciou režimu RLC, ktorý je určený prioritou a oneskorením paketov (a do istej miery i prijateľnou stratovosťou paketov) v návěstí QCI. Je možné napríklad očakávať, že paket s vyššou prioritou bude zaradený pred paket s nižšou prioritou.

8 Rozvoj LTE

Po uvoľnení Vydanía 8 LTE začalo konzorcium 3GPP hľadať spôsoby, ako ďalej rozvíjať LTE pre budúcnosť a budovať na existujúcej technológii LTE tak, aby zostala vedúcim svetovým štandardom pre mobilný širokopásmový prenos.

Zvýšenie výkonnosti môže byť v zásade dosiahnuté dvomi spôsobmi – pomocou širšieho rádiového spektra alebo účinnejším využitím dostupného spektra.

Medzi hlavné zložky LTE-Advanced, ktoré boli pridané do LTE, vydanie 10, sú:

- Zoskupenie nosných
- Zdokonalené vysielanie viacerými anténami na zostupnom spoji
- Vysielanie viacerými anténami na vzostupnom spoji
- Retranslácia
- Podpora pre nasadenie heterogénnych sietí

Rýchlosť prenosu dát rádovo 1 Gbit/s by mohla byť teoreticky dosiahnutá použitím súvislých 40 MHz pásom. Avšak súťaž o spektrum a roztrieštenosť dostupného spektra spôsobuje, že je nerealistické očakávať vo väčšine prípadov také veľké súvislé šírky pásma. Aby sa dosiahla veľká šírka pásma používa technológia LTE-Advanced princíp zoskupenia nosných. Prináša to výhodu obmedzenia nákladov na zariadenia a umožňuje znova využiť technológie vyvinuté pre LTE, Vydanie 8. Každá „nosná zložka“ v rámci zoskupenia je naprojektovaná tak, aby bola v podstate podobná LTE, Vydanie 8, konfigurovaná so spätnou kompatibilitou a mohli byť použité staršie UE. V LTE-Advanced môže byť zoskupených až päť nosných zložiek, každá so šírkou pásma do 20 MHz, aby sa efektívne využilo dostupné spektrum. Takto je možné dosiahnuť požadovanú celkovú šírku pásma a špičkovú rýchlosť prenosu dát.

LTE-Advanced môže tiež využiť zoskupenie nosných na podporu nasadenia v heterogénnych sieťach, v ktorých koexistujú vrstvy makrobuniek a vrstvy malých buniek aspoň s jednou spoločnou nosnou. Pri takom rozmiestnení môžu prenosi z jednej bunky výrazne interferovať s radiáciami kanálmi druhej, čo môže narušiť rozvrhovanie a signalizáciu. LTE-Advanced umožňuje riadiť rozvrhovanie medzi nosnými tak, aby nedochádzalo k interferencii medzi makrobunkami a malými bunkami.

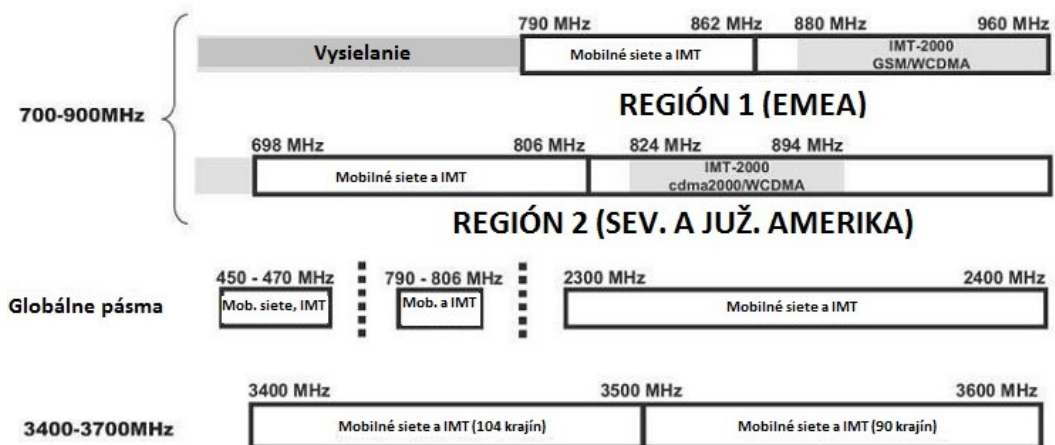
Existencia medzinárodne identifikovaných spoločných frekvenčných pásom je kľúčovým faktorom pre významné úspory vo vývoji a výrobe terminálov. Kľúčovým výsledkom konferencie WRC-2007 (Svetovej rádiokomunikačnej konferencie, ktorá sa konala v Ženeve v roku 2007) bolo pridelenie celkom 136 MHz nového globálneho spektra na použitie v medzinárodných mobilných telekomunikáciách s označením rádiové technológie:

- 450–470 MHz;
- 790–806 MHz;

- 2300–2400 MHz.

Alokované boli ďalšie špecifické pásma pre regióny:

- 790–862 MHz pre ITU Región 1 (EMEA) a ITU Región 3 (Ázia, Pacifik);
- 698–806 MHz pre ITU Región 2 (Severná a Južná Amerika) a ITU Región 3 (deväť krajín, vrátane Japonska, Číny a Indie);
- 3400–3600 MHz alokované pre mobilné použitie primárne pre ITU Región 1 (EMEA v 82 krajinách), ITU Región 2 (Amerika v 14 krajinách, mimo USA a Kanady) a Región 3.



Alokácia nového globálneho spektra, výsledok WRC-2007.

Všetky nové pásma identifikované na WRC 2007 sú všeobecne platné pre technológie medzinárodných mobilných telekomunikácií.