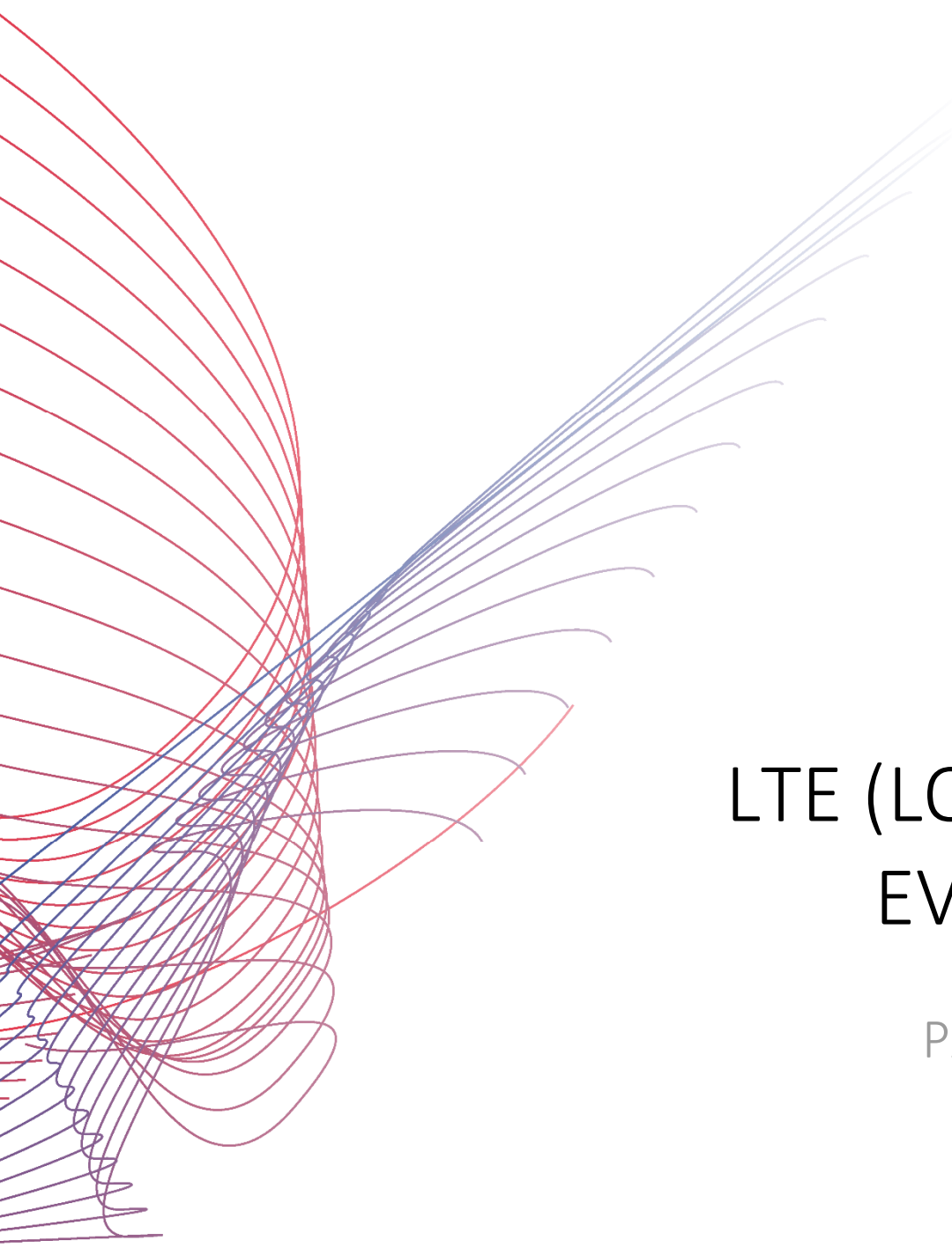




TECH pedia



LTE (LONG TERM EVOLUTION)

PAVEL BEZPALEC

Název díla: LTE (Long Term Evolution)
Autor: Pavel Bezpalec
Vydalo: České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Kontaktní adresa: Technická 2, Praha 6
Tel.: +420 224352084
Tisk: (pouze elektronicky)
Počet stran: 34
Edice (vydání): 1. vydání, 2017
ISBN 978-80-01-06291-3

TechPedia

European Virtual Learning Platform for
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



Tento projekt byl realizován za finanční podpory
Evropské unie.

Za obsah publikací odpovídá výlučně autor.

Publikace (sdělení) nereprezentují názory Evropské
komise a Evropská komise neodpovídá za použití
informací, jež jsou jejich obsahem.

VYSVĚTLIVKY



Definice



Zajímavost



Poznámka



Příklad



Shrnutí



Výhody



Nevýhody

ANOTACE

Long Term Evolution (LTE) je dalším krokem ve vývoji mobilních služeb. Technologie LTE, založená na standardech sdružení 3GPP, poskytuje pro přenosové rychlosti až 150 Mbit/s ve směru k uživateli a až 50 Mbit/s ve směru k síti. Pevné bezdrátové připojení a standardy v pevné síti se již blíží nebo dosahují přenosové rychlosti až 100 Mbit/s a LTE je způsobem, jak provozovat mobilní komunikaci na této vysoké rychlosti přenosu dat.

CÍLE

Přehledové znalosti o technologii LTE.

LITERATURA

- [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.

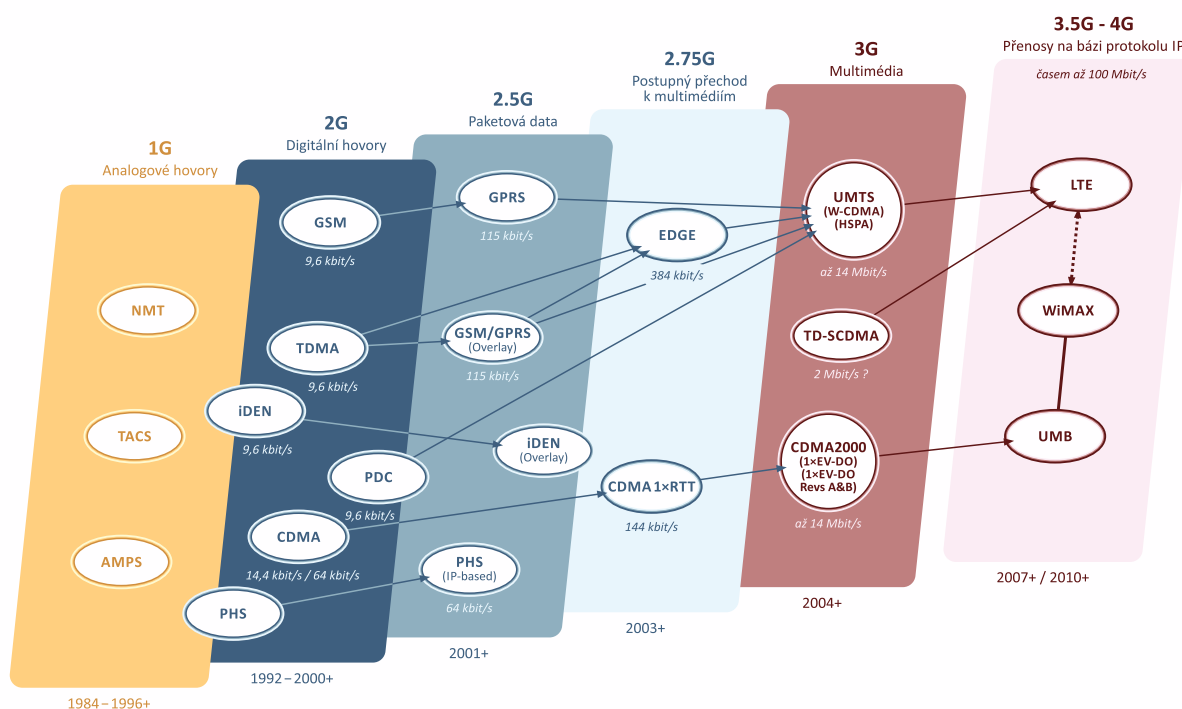
Obsah

1	Přehled mobilních technologií pro přenos hovoru a dat	6
1.1	Architektura sítě 2G	7
1.2	Vývoj směrem k 3G a IMS	9
1.3	Architektura EPS	11
2	Topologie sítě LTE	12
2.1	E-UTRAN	13
2.2	EPC a její komponenty	15
3	Protokolová architektura LTE	17
3.1	Uživatelská rovina LTE	18
3.2	Řídící rovina LTE	20
4	Fyzické a logické kanály v LTE	21
5	Tok dat v síti LTE	22
5.1	Transport dat ve směru uplink	24
5.2	Transport dat ve směru downlink	25
6	Přenos hovoru sítě LTE	26
6.1	Voice over LTE	27
6.2	CSFB – Circuit-Switched FallBack	29
6.3	Simultaneous voice and LTE (SVLTE)	30
7	Kvalita služby v LTE	31
8	Rozvoj LTE	33

1 Přehled mobilních technologií pro přenos hovoru a dat

Zkratka **LTE** (*Long Term Evolution*) je registrovanou ochrannou známkou sdružení **ETSI** (*European Telecommunications Standards Institute*), sdružení pro bezdrátové technologie datových komunikací a vývoj standardů pro GSM / UMTS. Nicméně i jiné společnosti hrají velmi aktivní roli v projektu LTE. Cílem LTE je zvýšit kapacitu a rychlost bezdrátových datových sítí využitím nových technik používajících pokročilé vlastnosti **DSP** (*Digital Signal Processing*), a využitím nových modulací, které byly vyvinuty na přelomu tisíciletí. Dalším cílem byl redesign a zjednodušení síťové architektury systému založeném na protokolu IP s výrazně sníženou hodnotou přenosového zpoždění v porovnání s architekturou 3G. Bezdrátové rozhraní LTE není kompatibilní se sítěmi 2G a 3G, tedy musí být provozováno ve vlastním rádiovém spektru.

Pro pochopení hlavních trendů rozšířené 3G architektury je nutné porozumět milníkům ve vývoji bezdrátových sítí, počínaje 2G sítěmi.



Vývoj bezdrátové technologie

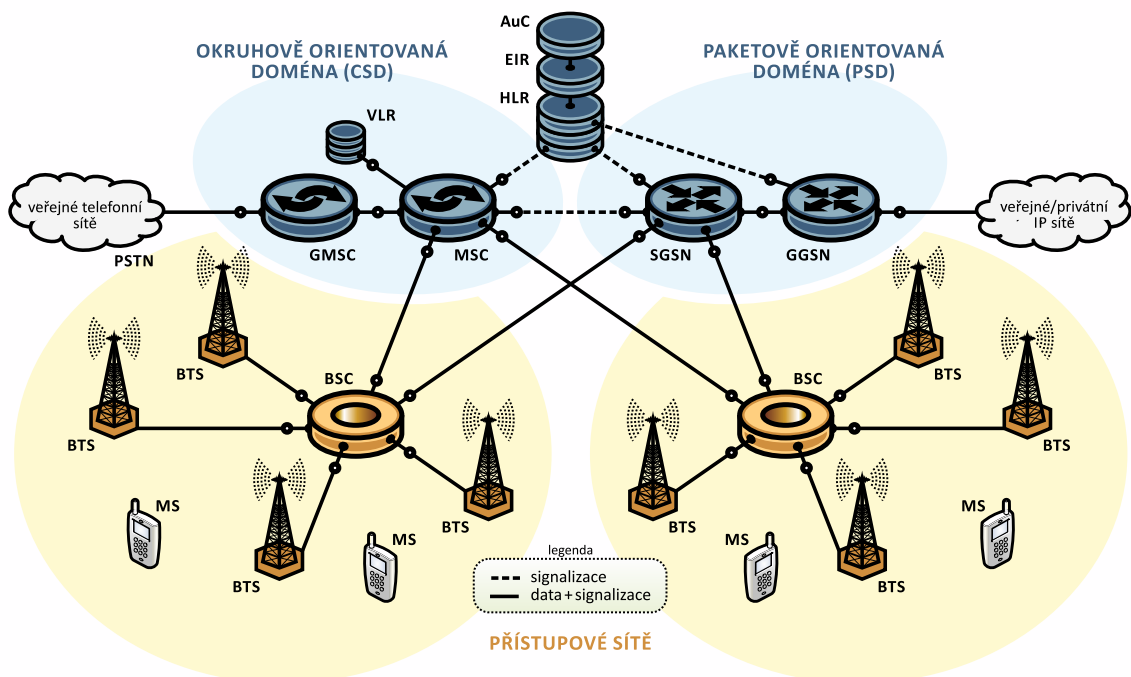
1.1 Architektura sítí 2G

Mobilní sítě 2. generace (GSM) byly původně navrženy primárně pro přenos hovoru, tj. pro okruhově přepínané služby. Z tohoto důvodu je architektura těchto sítí poměrně jednoduchá a obsahuje dvě hlavní části:

- Přístupová síť (*Access Network*), která zahrnuje rádiové rozhraní, uzly v síti a rozhraní mezi nimi. V prvních systémech GSM bylo rádiové rozhraní navrženo a optimalizováno pro přenos hovoru nebo přenos dat s nízkou přenosovou rychlostí.
- Páteří síť (*Core Network*) sestává pouze z okruhově orientované domény CS (*Circuit Switching*) založené na podpoře služeb na principu přepojování okruhů (včetně signalizace, ověřování a účtování hovorů) a na spolupráci s jinými telefonními sítěmi typu PSTN (*Public Switched Telephone Network*).

Se vznikem IP a webových služeb byly do sítí 2G přidány prvky pro efektivní podporu paketového přenosu dat:

- Přístupová síť (*Access Network*) – byla částečně přepracována tak, aby podporovala přenos paketů a sdílená schémata pro přidělování zdrojů – GPRS a EDGE technologie.
- Do páteří sítě byla paralelně k CS části přidána paketově orientovaná doména PS (*Packet Switched*). Role této nové části spočívá v podpoře pro přenos paketů (včetně ověřování a účtování) jakož i v podpoře spolupráce s veřejnými nebo soukromými sítěmi založenými na protokolu IP.



Model sítí 2G – Dual Core

Část CS sestává ze serveru a **MSC/VLR** (*Mobile Switching Center/Visitor Location Register*), odpovědného za řízení signalizace hovoru a udržování informace o poloze uživatelů (tyto informace se obvykle používají pro tzv. paging koncové stanice, vyhledání stanice pro příchozí komunikaci). Prvek **GMSC** (*Gateway MSC*) je speciální typ MSC odpovědný za zprostředkování vzájemné spolupráce s jinými telefonními sítěmi typu PSTN.

Část PS se skládá z prvku **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*), který v podstatě představuje MSC/VLR pro přepojování paketů, a **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*), který je ekvivalentem k GMSC pro zprostředkování spolupráce s externími paketovými sítěmi.

Obě části PS a CS mohou být případně propojeny mezi sebou. Tím se zajistí konzistentnost informace o poloze uživatele uložené v obou částech (PS a CS) a zároveň dojde ke snížení objemu vzájemné komunikace.

Páteřní síť obsahuje prvek **HLR** (*Home Location Register*), přístupný oběma částem CS a PS. Prvek HLR je klíčovou součástí síťové architektury, neboť obsahuje všechny informace týkající se profilu uživatele.

1.2 Vývoj směrem k 3G a IMS

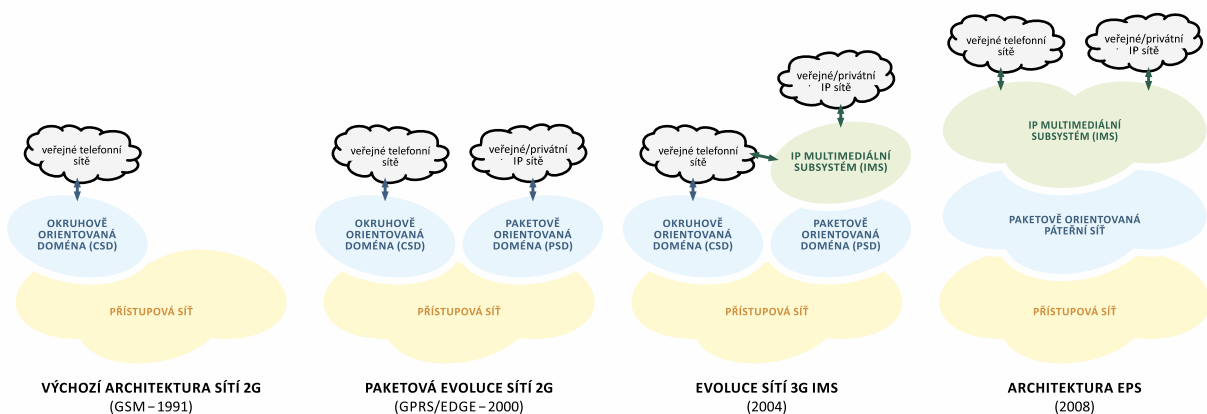
Ze systémového hlediska byla prvotní síťová architektura sítí 3G UMTS víceméně stejná jako u sítí 2G, protože zahrnovala jak okruhovou tak i paketovou část. Nová část, **IMS** (*IP Multimedia Subsystem*), byla přidána nad vrchol části PS.

$E = m \cdot c^2$

IMS obsahuje všechny prvky jádra sítě pro poskytování IP multimediálních služeb, které zahrnujících audio, video, text, chat atd. a jejich kombinace přenášené přes doménu přepojování paketů. IMS rozšiřuje architekturu stávajících GSM/UMTS sítí o část pro multimediální přenosy pomocí technologie přepojování paketů. Multimediálními přenosy jsou myšleny jak běžné telefonní hovory, konferenční hovory, tak i libovolné přenosy zvuku a videa včetně streamingu, dále chaty a instant messaging (textová interaktivní komunikace, včetně informací o stavu účastníka), hraní real-timových her apod.

Hlavním cílem IMS bylo umožnit vytváření standardních služeb založených na protokolu IP (jako např. *Push-To-Talk*, *Presence* nebo *Instant Messaging*) a to jednotným způsobem v celé síti, dle požadavků 3GPP. Interoperabilita služeb založených na IMS byla zajištěna skutečností, že IMS je postavena na flexibilních protokolech vyvinutých IETF, jako např. **SIP** (*Session Initiation Protocol*).

Kromě toho standardní IMS nabízí podporu **VoIP** (*Voice over IP*) a poskytuje prostředky pro spolupráci s telefonními sítěmi typu PSTN prostřednictvím signalizačních a mediálních bran.



Vývoj síťové architektury

Jak je znázorněno na obrázku, je část CS stále součástí architektury 3G, spolu se strukturou PS/IMS. Hlavním důvodem pro zachování části CS byla potřeba podpořit stále dominantní hovorové služby založené na okruhovém zpracování a současně podporovat video-telefonní služby založené na standardu H.324M.

Architektura IMS byla prezentována jako zajímavý krok směrem k integraci služeb. Z důvodu nedostatku podpory pro hovor a mobilitu mezi stávajícími sítěmi a IMS operátoři telefonních sítí zdržovali její široké nasazení a používání jako společné

platformy pro všechny služby (včetně hovoru, přenosu dat v reálném čase a ostatních služeb).

1.3 Architektura EPS

System **EPS** (*Evolved Packet System*), tj. pokročilé UMTS síť, mají jasný cíl integrovat všechny aplikace prostřednictvím zjednodušené a běžně užívané architektury. Hlavními komponenty architektury EPS jsou následující:

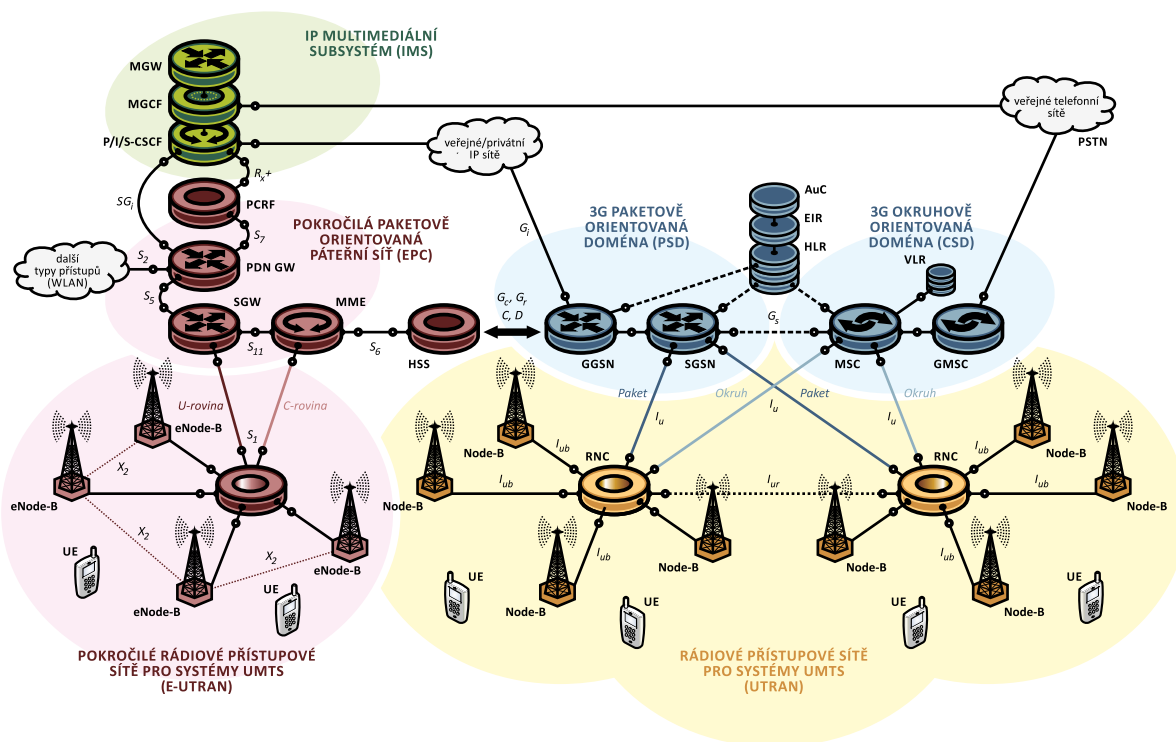
- Přístupová síť je optimalizovaná pro přenos IP paketů a podporuje pokud možno všechny typy služeb. Služby vyžadující konstantní zpoždění, služby vyžadující konstantní přenosovou rychlost i služby bez nároků na síťové parametry.
- Zjednodušená páteřní síť je složena pouze z jedné části, která podporuje všechny služby v paketové podobě (založená na IMS) a která zprostředkovává komunikaci s telefonními sítěmi typu PSTN.

Část CS již není přítomna, všechny aplikace jsou podporovány přes část PS. To samozřejmě vyžaduje specifické hraniční uzly, brány (součástí architektury IMS) takové, které převádí IP provoz do sítí s přepojováním okruhů, PSTN.

Standardizační aktivity při tvorbě Evolved UMTS byly uzpůsobeny tak, aby i při takovém zjednodušení sítě byla zachována kontinuita spojení mezi starými a novými systémy.

2 Topologie sítě LTE

Následující schéma přehledným způsobem zobrazuje prvky v síťové infrastruktuře technologie LTE. Popisuje celkovou topologii sítě LTE a UMTS, bloky EPC (Evolved Packet Core) a E-UTRAN (Evolved UMTS Terrestrial Access Network), a také dalších komponenty s cílem ukázat vztahy mezi nimi.



Přehledová topologie sítě LTE

Vývoj systému UMTS směrem k EPS charakterizují bloky EPC a E-UTRAN.

Další bloky typické pro UMTS architekturu, **UTRAN** (*UMTS Radio Access Network*), části PS a CS, zprostředkovávají propojení k veřejným (nebo privátním) IP a telefonním sítím.

Systém IMS je umístěn v horní části nad blokem páteřní sítě a poskytuje přístup k veřejným nebo privátním IP sítím a veřejným telefonním sítím prostřednictvím mediálních bran. Blok HSS, obsahující informace o uživateli, je zobrazen jako centrální uzel, který poskytuje služby pro všechny prvky páteřní sítě EPC a 3G architektury.

2.1 E-UTRAN

Historicky od UMTS

Od prvních vydání standardu UMT byla architektura UTRAN v souladu s koncepty přístupové sítě 2G/GSM. Obecná architektura navazuje na starý dobrý „hvězdicový“ model sítě 2G/GSM, který představuje situaci, ve které jeden řadič (**RNC**, *Radio Network Controller*) může případně řídit velký počet (v reálných sítích typicky několik stovek) základnových stanic (NodeB) přes rozhraní Iub. Kromě toho bylo definováno rozhraní Iur pro komunikaci mezi RNC, aby hovor probíhající v UMTS byl ukotven na úrovni RNC.

Prvotní architektura části UTRAN vedla ke zjednodušené implementaci NodeB a k poměrně složitému systému RNC, který obsluhuje jak funkce řízení zdrojů a spojení, tak i významnou část rádiových protokolů.

Uzly eNodeB

Ve srovnání s UTRAN má E-UTRAN poměrně jednoduchou strukturu. Skládá se pouze z jednoho síťového prvku: **eNodeB** (*evolved Node B*). Řadič RNC zděděný z 2G sítí jako **BSC** (*Base Station Controller*) zmizel z E-UTRAN a eNodeB je přímo napojen na páteřní síť pomocí rozhraní S1. V důsledku toho byly funkce RNC distribuovány mezi eNodeB nebo MME v páteřní síti nebo Serving Gateway.

Funkce eNodeB

Z globálního pohledu nová architektura části E-UTRAN ve skutečnosti směřuje k bezdrátovým sítím **WLAN** (*Wireless LAN*) a konceptu základnových stanic definovaných ve WiFi nebo WiMAX.

Tedy funkční definice eNodeB (jako WLAN přístupových bodů) musí obsahovat všechny vlastnosti vrstev L1 a L2 spojené s fyzickým rozhraním. Uzly eNodeB jsou pak přímo připojeny k síťové infrastruktuře. Neexistuje žádný další mezilehlý řídicí uzel (jako to bylo v 2G/3G). Výhodou je jednodušší síťová architektura (méně uzlů různých typů, což znamená, zjednodušený provoz sítě), a zároveň vyšší výkon rádiového rozhraní.

Z funkčního hlediska podporuje eNodeB řadu běžných funkcí vztažených k procedurám fyzické vrstvy, které definují vysílání a příjem přes rádiové rozhraní:

- Modulace a de-modulace.
- Kanálové kódování a dekódování.

Kromě toho obsahuje eNodeB další funkce vycházející ze skutečnosti, že neexistují žádné další řadiče základních stanic v architektuře E-UTRAN. Tyto vlastnosti, které jsou dále popsány v kapitole 4, zahrnují následující:

- Řízení zdrojů radiového kanálu (*Radio Resource Control*): alokace, úpravy a uvolňování zdrojů pro přenos rádiovým rozhraním mezi uživatelským terminálem a eNodeB.
- Správa radiové mobility (*Radio Mobility Management*): zpracování měření a rozhodnutí o handoveru.
- Plná podpora protokolů L2 na radiovém rozhraní (*Radio interface full L2 protocol*): účelem 2. vrstvy OSI modelu je zajistit přenos dat mezi síťovými jednotkami, detekovat a případně opravit chyby, které mohou nastat při přenosu dat na fyzické vrstvě.

2.2 EPC a její komponenty

Jádro sítě, **EPC** (*Evolved Packet Core*) je složeno z několika funkčních entit:

- **MME** (*Mobility Management Entity*)
- **HSS** (*Home Subscriber Server*)
- Serving Gateway.
- **PDN Gateway** (*Packet Data Network*).
- **PCRF** (*Policy and Charging Rules Function*) Server.

MME (Mobility Management Entity)

Entita MME má na starosti všechny funkce Řídící roviny týkající se účastníka a řízení relace. Z tohoto hlediska MME podporuje následující:

- Bezpečnostní postupy – autentizace, zahájení a domluva šifrovacích algoritmů a ochrana integrity koncového uživatele.
- Řízení relace ve směru terminál-sít' – signalizační postupy k zahájení přenosu dat a vyjednání parametrů kvality služby.
- Management lokalizace terminálu v klidu – proces aktualizace sledovací oblasti používané v případě požadavku na příchozí spojení.

Entita MME je s entitou HSS spojena rozhraním S6.

HSS (Home Subscriber Server)

Entita HSS je centrální databází, která vznikla sloučením HLR a **AuC** (*Authentication Center*), dvou bloků již přítomných v sítích 2G a 3G. HSS má na starosti uložení a aktualizaci databáze informací o uživateli, obsahuje zejména:

- Identifikaci a očíslování uživatele – **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*) a **MSISDN** (*Mobile Subscriber ISDN Number*) nebo mobilní telefonní číslo.
- Informace o Uživatelském profilu – stav přihlášeného účastníka a jeho požadavky na kvalitu služby (jako je maximální povolená přenosovou rychlost nebo povolené třídy provozu).

HSS také integruje ověřování centrum (AUC), které generuje vektory pro ověřování a zabezpečovací klíče. Tyto bezpečnostní informace jsou dále poskytovány části HLR a následně sděleny jiným subjektům v síti. Informace o zabezpečení se používá hlavně pro:

- Vzájemné ověřování sítě a terminálu.

- Šifrování radiové části a ochrana integrity – zajištění, že přenos dat a signalizaci mezi sítí a terminálem není ani odposlouchávat ani změněn.

Obslužný uzel podpory – Serving GW

Z funkčního hlediska je Serving GW koncovým bodem datového provozu směrem k E-UTRAN. Když se terminál pohybuje v E-UTRAN přes uzly eNodeB, zodpovídá Serving GW za mobilitu, což znamená, že pakety jsou směrovány přes tento bod při pohybu v rámci E-UTRAN i při spojení s dalšími technologiemi 3GPP, jako je 2G / GSM a 3G / UMTS.

PDN GW (Packet Data Network Gateway)

Podobně jako Serving GW je PDN GW koncovým bodem datového provozu směrem k jiným sítím paketových dat. PDN GW také podporuje funkci vynucování politik, (na které se vztahují pravidla stanovená provozovatelem), filtrování paketů (jako hloubkovou inspekci paketů pro detekci virů) a pokročilé metody účtování (jako účtování dle URL).

Server PCRF (Policy and Charging Rules Function)

Server PCRF je zodpovědný za řízení rozhodovacího procesu při přidělování kvality služby a při jejím vyúčtování. PCRF poskytuje přidělení identifikátoru QoS třídy, který rozhoduje, jak bude s určitým datovým tokem zacházeno v **PCEF** (*Policy Control Enforcement Function*) a zajišťuje, že je to v souladu s profilem uživatele.

Server PCRF kombinuje funkce dvou uzlů ze struktury UMTS:

- Policy Decision Function (PDF)
- Charging Rules Function (CRF)

Entita PDF je rozhodovací prvek v síti, který rozhoduje o přidělení typu medií. Ve fázi sestavování relace podle postupů IMS jsou mezi terminálem a P-CSCF vyměňovány signalizační zprávy SIP signalizace obsahující požadavky na typ média. PDF přijímá tyto požadavky z P-CSCF a činí rozhodnutí založená na pravidlech provozovatele sítě, jako například:

- Povolení nebo zamítnutí žádosti o typ medií.

Použití nového nebo existujícího PDP kontextu pro příchozí žádosti o média.

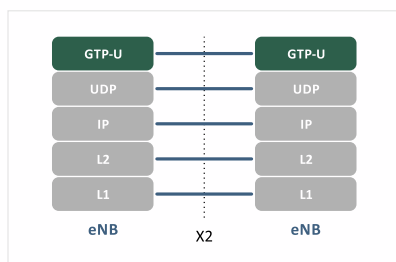
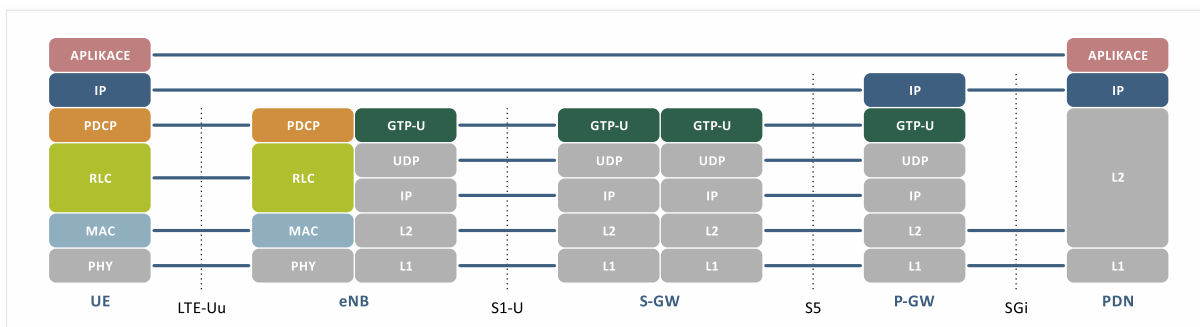
Kontrola přidělení nových zdrojů vůči maximálně povoleným hodnotám

Úkolem CRF je zajistit provozovatelem stanovená pravidla účtování a aplikovat je na každý datový tok. CRF vybere příslušná pravidla účtování na základě informací poskytnutých od P-CSCF, jako je identifikátor aplikace, typ toku (audio, video, atd.), přenosová rychlost aplikačních dat, atd.

3 Protokolová architektura LTE

Následující obrázek znázorňuje uživatelskou a řídicí rovinu protokolové architektury LTE. Funkce hlavních vrstev jsou stručně popsány níže.

3.1 Uživatelská rovina LTE



Uživatelská rovina LTE

PDCP: protokol PDCP zajišťuje efektivní transport IP paketů přes rádiový spoj. Provádí kompresi hlaviček, zabezpečení (šifrování a ochranu integrity) a retransmisi paketů při handoveru.

RLC: na vysílací straně protokol RLC vytváří RLC PDU a předává ji do vrstvy MAC. Protokol RLC provádí segmentaci nebo zřetězení PDCP PDU během tvorby RLC PDU. Na přijímací straně provádí protokol RLC zpětné sestavení RLC PDU a rekonstruuje PDCP PDU. Protokol RLC má tři provozní režimy (transparentní, potvrzovaný a nepotvrzovaný) a každý z nich nabízí různé úrovně spolehlivosti. Provádí také přeuspořádání a retransmisi paketů (RLC PDU).

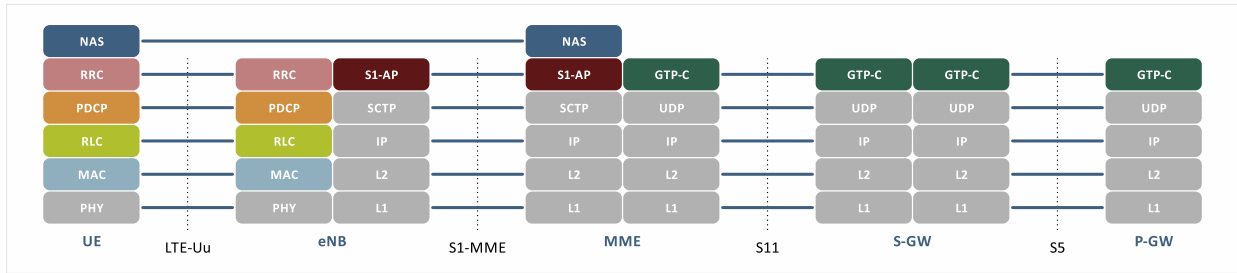
MAC: Vrstva MAC leží mezi vrstvami RLC a PHY. Je připojena k vrstvě RLC prostřednictvím logických kanálů, a k vrstvě PHY prostřednictvím transportních kanálů. Proto protokol MAC podporuje multiplexing a demultiplexing mezi logickými a přenosovými kanály. Vyšší vrstvy využívají různé logické kanály pro různé metriky QoS. Protokol MAC podporuje QoS pomocí plánování a prioritizace dat z logických kanálů. eNB plánovač zajišťuje dynamické přidělování rádiových zdrojů koncovým uzlům UE, provádí řízení QoS a zajišťuje, aby každá nosná frekvence měla přiděleny vyjednané parametry QoS.

PHY: Fyzická vrstva zabezpečuje základní funkce bitového přenosu bezdrátovým rozhraním. V příchozím směru (downlink) používá OFDMA na v odchozím směru (uplink) SC-FDMA. Fyzické kanály jsou dynamicky mapovány podle dostupných zdrojů. Směrem k vyšším vrstvám nabízí fyzická vrstva své funkce pro přenos dat přes přenosové kanály. Stejně jako v UMTS je transportní kanál orientován na blokový přenos služeb s určitými vlastnostmi, čítající přenosovou rychlost, zpoždění, riziko kolize a spolehlivost. Na rozdíl od 3G WCDMA nebo dokonce 2G

GSM už neexistují žádné vyhrazené transportní nebo fyzické kanály, neboť mapování všech zdrojů je dynamicky řízeno plánovačem.

GTP-U: protokol GTP-U je používán pro předávání uživatelských IP paketů přes rozhraní S1-U, S5 a X2.

3.2 Řídící rovina LTE



Řídící rovina LTE

NAS: protokol NAS provádí řízení mobility a nosných radiových služeb.

RRC: protokol RRC zajišťuje přenos signalizace NAS. Provádí také funkce potřebné pro efektivní řízení radiových zdrojů. Hlavní funkce jsou následující:

- Broadcast systémové informace
- Zahájení, rekonfigurace, ukončení spojení RRC
- Zahájení, rekonfigurace, ukončení spojení radiových služeb

X2AP: X2AP protokol zajišťuje mobilitu UE a funkce SON v rámci E-UTRAN. Pro zajištění mobility UE nabízí protokol X2AP funkce jako přesměrování uživatelských dat, přenos stavu SN a předání kontextu UE. Pro zajištění SON funkcí nabízí informace o stavu eNBs, informace o provozním zatížení a informace o aktualizaci konfiguraci eNB. Dále koordinuje parametry mobility.

S1AP: S1AP protokol zajišťuje funkce řízení S1 rozhraní, řízení E-RAB, transport NAS signalizace a management kontextu UE. Zprostředkovává prvotní kontext UE směrem k eNB pro potřeby nastavení E-RAB a řídí následné změny nebo jeho uvolnění.

GTP-C: GTP-C protokol zajišťuje výměnu řídicích informací pro vytváření, úpravu a ukončení GTP tunelů. V případě handoveru v LTE vytváří tunely pro předávaná data.

4 Fyzické a logické kanály v LTE

Stejně jako u většiny radiokomunikačních systémů čelí rádiové rozhraní E-UTRAN mnoha výzvám. E-UTRAN je schopna přenášet vysokorychlostní data s nízkým zpožděním velmi efektivně. Nicméně ne všechny informační toky vyžadují stejnou ochranu proti chybám při přenosu nebo zajištění kvality služby.

Obecně lze říci, že v případě rádiové mobility, je rozhodující, že signalizační zprávy E-UTRAN jsou přenášeny tak rychle, jak je to možné, nejlépe se současným použitím proti chybovým schémata. Na druhou stranu mohou aplikace vytvářející toky hovorových či prostých dat akceptovat přiměřenou ztrátu rámců v rádiového přenosu. Aplikace orientované na interaktivní spojení (jako je web) jsou odlišné, vyšší vrstvy pomáhají zotavit se z chyb na rádiovém rozhraní pomocí retransmise dat.

Specifikace E-UTRAN představuje několik typů kanálů, které jsou flexibilní a umožňují různé režimy pro přenos dat:

- logické kanály – co se přenáší
- transportní kanály – jak se přenáší
- fyzické kanály

Logické kanály odpovídají službám přenosu dat nabízených protokoly rádiového rozhraní do vyšších vrstev. V zásadě existují pouze dva typy logických kanálů: řídicí kanály (pro přenos informací řídicí rovině) a provozní kanály (pro přenos informace v uživatelské rovině). Každý z těchto kanálů odpovídá určitému typu informačního toku.

Transportní kanály popisují, jak a s jakými charakteristikami jsou přenášena data přes rádiové rozhraní. Například transportní kanály popisují, jak jsou data chráněna proti chybám při přenosu, typu kanálového kódování, zabezpečení CRC, typu použitého prokládání, velikosti datových paketů odesílaných přes rádiové rozhraní, atd.

Transportní kanály jsou rozděleny do dvou kategorií:

- transportní kanály pro downlink (směr od sítě k terminálu) a
- transportní kanály pro uplink (směr od terminálu k síti).

Fyzické kanály jsou skutečné realizace transportního kanálu rádiovým rozhraním. Jsou rozpoznávány pouze na fyzické vrstvě E-UTRAN a jejich struktura je závislá na fyzikálních vlastnostech rozhraní OFDM.

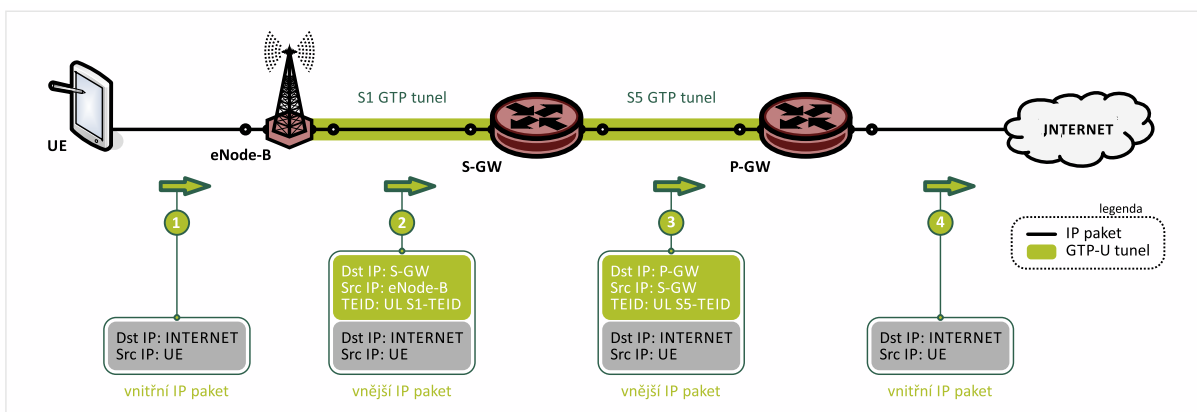
5 Tok dat v síti LTE

Následující obrázek ukazuje postup toku dat při přístupu k Internetu v uživatelské rovině referenčního modelu architektury sítě LTE.

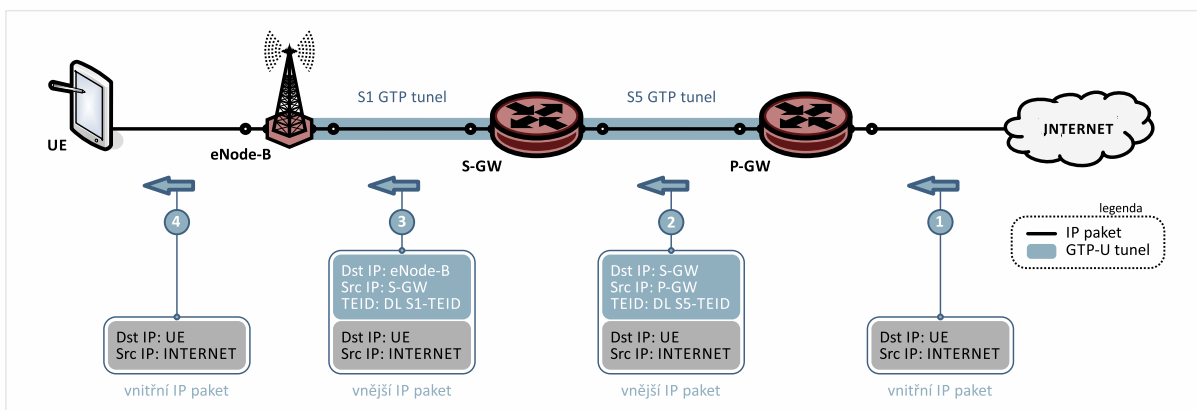
IP pakety jsou předávány přes GTP tunel do rozhraní S1-U a S5. Když je uživatel připojen k síti LTE, je pro každou službu EPS sestaven vlastní GTP tunel.

Na každém rozhraní S1-U a S5 je vytvořena více než jedna služba EPS. Za účelem identifikace těchto služeb je koncovým bodům (UL a DL) jednoznačně přiřazen identifikátor *Tunnel Endpoint Identifier (TEID)*. Při identifikaci GTP tunelu jsou obvykle použity TEID, IP adresa, číslo portu.

Pro jednoduchost popisu se zde používá pouze TEID. Přijímající strana GTP tunelu místně přiřadí hodnotu TEID, kterou má vysílací strana použít. Hodnoty TEID jsou pak vyměněny mezi koncovými body tunelu pomocí protokolů řídicí roviny.



a) Od zařízení UE směrem do INTERNETu



b) Z INTERNETu směrem k zařízení UE

Toky dat v síti LTE

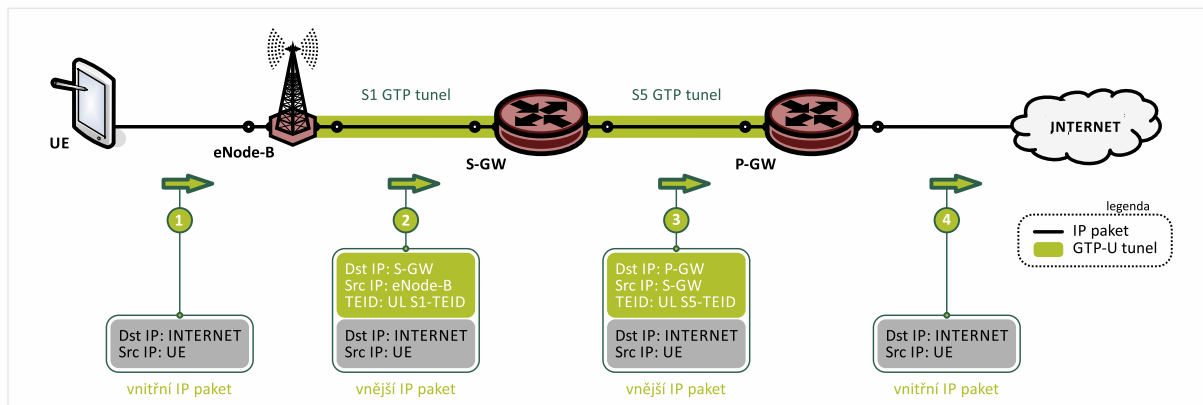
Když je na rozhraní S1-U sestaven GTP tunel, S-GW přiřazuje TEID (UL S1-TEID na obrázku (a) pro odchozí provoz a eNB přiřazuje TEID (DL S1-TEID na obrázku

(b)) pro příchozí provoz. Hodnoty TEID z S1 GTP tunelu jsou vyměňovány mezi eNB a S-GW pomocí zpráv S1AP a GTP-C.

Obdobně když je na rozhraní S5 sestaven GTP tunel, P-GW přiřazuje TEID (UL S5-TEID na obrázku (a)) pro odchozí provoz a S-GW přiřazuje TEID (DL S5-TEID na obrázku (b)) pro příchozí provoz. Hodnoty TEID z S5 GTP tunelu jsou vyměňovány mezi S-GW a P-GW za použití protokolu GTP-C.

Když je uživatelský IP paket prostřednictvím GTP tunelu doručen na rozhraní S1-U a S5, entity eNB, S-GW a P-GW jej zapouzdří s hodnotou TEID přidělenou přijímající stranou a přeposílají jej. V odchozím směru, S-GW sestaví jednoznačné mapování mezi tunelem S1 GTP (UL S1-TEID) a tunelem S5 GTP (UL S5-TEID) za účelem předání uživatelského IP paketu z tunelu S1 GTP do tunelu S5 GTP.

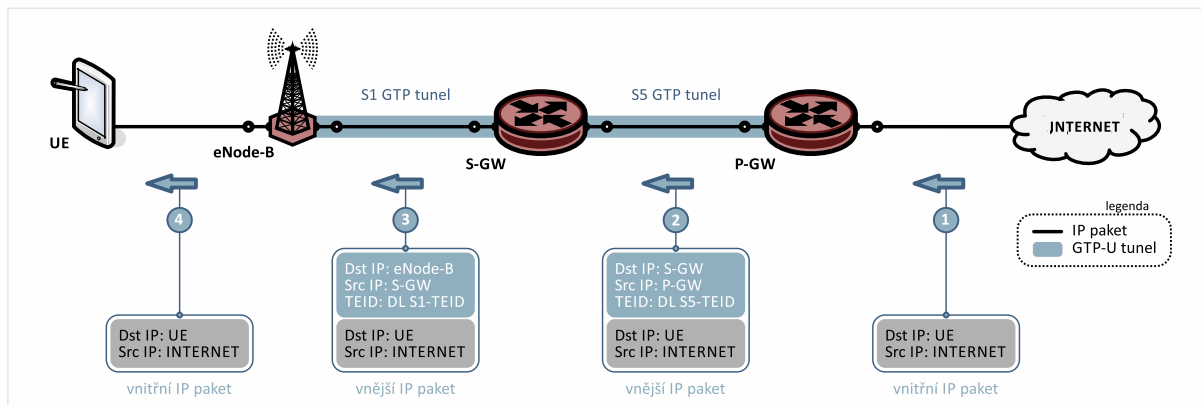
5.1 Transport dat ve směru uplink



Transport dat ve směru od UE do Internetu

1. UE transportuje uživatelské IP pakety na eNB přes rozhraní LTE-UU.
2. eNB zapouzdří uživatelský IP paket záhlavím tunelu S1 GTP a předá výsledný vnější IP paket na S-GW. eNB zvolí do záhlaví tunelu S1 GTP hodnoty "TEID" (UL S1-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa S-GW) a "Source IP address" (IP adresa eNB).
3. Po obdržení vnějšího IP paketu odejme S-GW záhlaví tunelu S1 GTP, zapouzdří uživatelský IP paket (vnitřní IP paket) záhlavím tunelu S5 GTP a předá výsledný vnější IP paket na P-GW. S-GW zvolí do záhlaví tunelu S5 GTP hodnoty "TEID" (UL S5-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa P-GW) a "Source IP Address" (IP adresa S-GW).
4. Po obdržení vnějšího IP paketu odebere P-GW záhlaví tunelu S5 GTP a tím dostane uživatelský IP paket, který transportuje do Internetu prostřednictvím standardního směrování.

5.2 Transport dat ve směru downlink



Transport dat ve směru od Internetu k UE

1. P-GW obdrží z Internetu IP pakety určené UE.
2. P-GW zapouzdří uživatelský IP paket záhlavím tunelu S5 GTP a předá výsledný vnější IP paket na S-GW. P-GW zvolí do záhlaví tunelu S5 GTP hodnoty "TEID" (DL S5-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa S-GW) a "Source IP address" (IP adresa P-GW).
3. Po obdržení vnějšího IP paketu S-GW odejme záhlaví tunelu S5 GTP, zapouzdří uživatelský IP paket (vnitřní IP pakety) záhlavím tunelu S1 GTP a předá výsledný vnější IP paket na eNB. S-GW zvolí do záhlaví tunelu S1 GTP hodnotu "TEID" (DL S1-TEID), "Destination IP Address" (IP adresa eNB) a "Source IP Address" (IP adresa S-GW).
4. Po obdržení vnějšího IP pakety odebere eNB záhlaví tunelu S1 GTP a tím dostane uživatelský IP paket, který transportuje do UE prostřednictvím rádiového rozhraní.

6 Přenos hovoru sítí LTE

Hovory v sítích GSM, UMTS a CDMA2000 jsou realizovány technologií přepojování okruhů. Standard LTE podporuje pouze technologii přepojování paketů. Chybějící technologie přepojování okruhů způsobuje některé problémy přenosu hovoru sítí LTE.

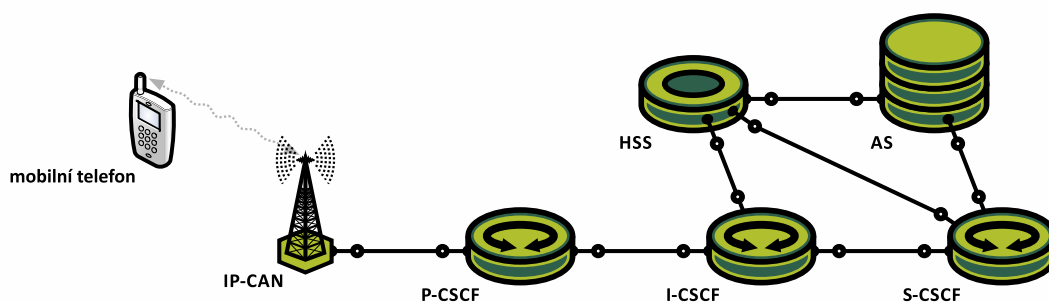
Z toho důvodu budou muset vlastníci sítí LTE, hodlající poskytovat hovorové služby, přeorganizovat svůj přístup k přenosu hovorů. Mají k dispozici celkem tři různé modely řešení:

- Voice over LTE (VoLTE)
- Circuit-switched fallback (CSFB)
- Simultaneous voice and LTE (SVLTE)

6.1 Voice over LTE

Hovorová komunikace je v LTE nativně podporována pouze pomocí služby IMS se specifickými profily v řídicí a mediální rovině.

IMS je nezávislý technologický překryv přes stávající síťovou architekturu, který zaručuje bezproblémové pokračování služeb, nejen hovorových nýbrž též i video aplikací. První verze IMS byla standardizována v 3GPP Release 5, mnoho vylepšení pak přišlo s následujícími Release. IMS je třeba implementovat jak na straně sítě, tak i na straně koncového zařízení. Uvedení IMS na komerčním trh bylo pomalejší, než se původně očekávalo.



IMS subsystém v LTE

V síti LTE je část **IP-CAN IP** (*Connectivity Access Network*) sestavena z EPS a E-UTRAN.

Základními komponentami IMS jsou servery s funkcemi řízení volání, **CSCF** (*Call State Control Function*). Jsou definovány tři CSCF:

- **P-CSCF** (*Proxy Call State Control Function*) je proxy server mezi uživatelem a sítí. Signalizační výměna zpráv protokolu SIP probíhá mezi uživatelem a sítí vždy přes P-CSCF bez ohledu na umístění uživatele.
- **I-CSCF** (*Interrogating Call State Control Function*) je použit jako prvotní signalizační kontakt, když iniciátor SIP relace neví, který S-CSCF použít.
- **S-CSCF** (*Serving Call State Control Function*) provádí různé akce v rámci celého systému, má řadu rozhraní pro komunikaci s ostatními prvky v síti.

HSS (*Home Subscriber Server*) je hlavní účastnická databáze v IMS. Zprostředkovává informace o účastnících ostatním prvkům v síti IMS, umožňuje uživatelům přístup v závislosti na jejich stavu.

AS (*Application Server*) poskytuje specifické IP aplikace, jako je posílání zpráv.

Účastnický S-CSCF v domácí síti je zodpovědný za IMS hovory v síti LTE. Spojení s S-CSCF je zprostředkováno přes P-CSCF. Klíčovým prvkem ve schopnosti sestavit hovor je postup objevování P-CSCF, který dále řeší závislost na používané síti a lokalizaci v síti.

Kontinuita hovorů je zajištěna pomocí handoveru na starší technologie, jako je GSM. Toho je dosaženo funkcí nazvanou **SRVCC** (*Single Radio Voice Call Continuity*).

6.2 CSFB – Circuit-Switched FallBack

Model **CSFB** (*Circuit-Switched FallBack*) musí být použit v případě, že služby IMS nejsou v síti implementovány a/nebo LTE poskytuje pouze datové služby. Má-li být hovor zahájen, bude realizován v doméně s přepojováním okruhů, tedy v původní technologii 2G nebo 3G.

Při použití tohoto řešení operátoři pouze upgradují MSC místo nasazení celého IMS. Nevýhodou je větší zpoždění při sestavení hovoru.

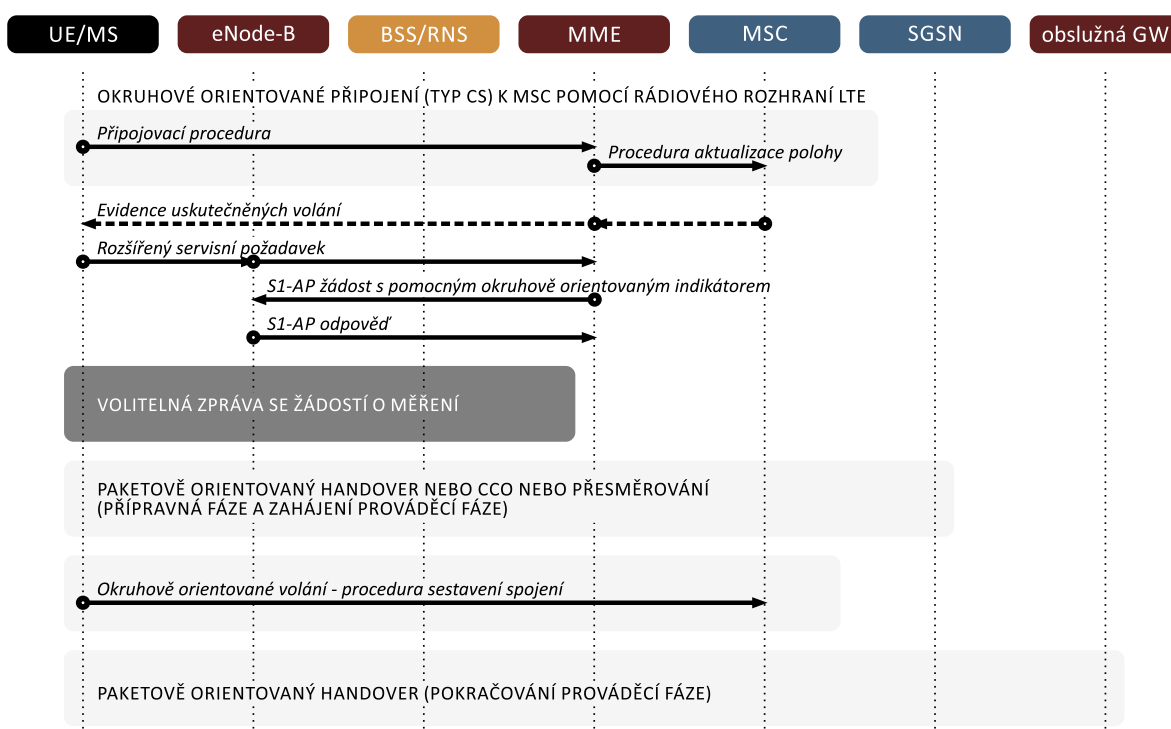


Diagram toku zpráv pro CSFB (LTE do UMTS)

Obrázek ukazuje tok zpráv při CSFB pro sestavení volání z LTE do UMTS. Je též znázorněn paging od MSC přes rozhraní SGs a MME v případě hovorů terminovaných na UE. Zpráva *Extended Service Request* zasláná z UE do MME spouští buď handover nebo přesměrování do cílové technologie rádiového přístupu.

6.3 Simultaneous voice and LTE (SVLTE)

V tomto modelu pracuje uživatelský terminál současně v LTE a v CS režimu (režim s přepojováním okruhů), přičemž režim LTE poskytuje datové služby a režim CS poskytuje hovorové služby.

Jedná se o řešení založené na schopnostech telefonu, které nemá zvláštní požadavky na síť a ani nevyžaduje zavádění IMS služeb. Nevýhodou tohoto řešení je, že telefon může být drahý a s vysokou spotřebou energie.

Dalším modelem jak v síti LTE poskytovat hovorové služby je použití tzv. služeb over-the-top (OTT) s využitím aplikací jako je Skype a Google Talk. Tento model však není iniciován operátory.

7 Kvalita služby v LTE

V typickém případě může být spuštěno v UE více aplikací souběžně. Každá z nich bude mít různé požadavky na QoS. Například UE může být zapojen do VoIP hovoru, zatímco ve stejnou dobu si uživatel prohlíží webové stránky nebo stahuje soubory přes FTP. VoIP má přísnější požadavky na QoS, pokud jde o zpoždění a variabilitu zpoždění než prohlížení webových stránek a FTP, zatímco přenosy dat vyžadují mnohem nižší ztrátovost paketů. Za účelem podpory více požadavků na QoS v EPS jsou nastaveny různé nositelé služby, z nichž každý je spojen s QoS.

Na základě typu QoS, které poskytují, mohou být nositelé služby rozděleni do dvou kategorií:

- **GBR** (*Guaranteed Bit Rate*) může být použita pro aplikace, jako je hovor. Má přiřazenu hodnotu GBR, pro kterou jsou trvale přiděleny specifické přenosové prostředky (např. funkce pro řízení přístupu do eNodeB). Přenosové rychlosti vyšší než GBR mohou být pro nositele GBR povoleny, pokud jsou k dispozici zdroje. V takových případech parametr maximální přenosové rychlosti **MBR** (*Maximum Bit Rate*) stanoví horní hranici přenosové rychlosti.
- Non-GBR nezaručuje žádnou konkrétní přenosovou rychlost. Tito mohou být použity pro aplikace, jako je prohlížení webu nebo FTP přenos. Těmto nositelům služby nejsou trvale přiděleny žádné přenosové parametry.

V přístupové síti je eNodeB odpovědný za zajištění plnění nezbytné třídy QoS pro nositele služby. Každý nositel služby má přiřazen identifikátor třídy **QCI** (*Class Identifier*) a prioritu **ARP** (*Allocation and Retention Priority*).

Každý QCI je charakterizován prioritou, množstvím zpožděných paketů a přijatelnou ztrátovostí paketů. Značka QCI pro nositele služby určuje způsob, jakým je zpracována v eNodeB. Byl standardizován pouze tucet takových QCI. Výrobci mají k dispozici stejné vstupní znalosti o základních charakteristikách služeb, odpovídajícím zpracování, správě front, formování provozu a strategii politik. Tím je zajištěno, že provozovatel LTE může očekávat jednotné zacházení s provozem v celé síti bez ohledu na výrobce eNodeB zařízení. Soubor standardizovaných QCIs s charakteristikami, z nichž se volí PCRF v EPS, jsou uvedeny v tabulce níže.

Standardizované třídy identifikátorů QoS (QCI) v LTE

QCI	Typ zdroje	Priorita	Zpoždění paketů (ms)	Ztrátovost paketů	Příklad služby
1	GBR	2	100	10-2	Konverzační videohovory
2	GBR	4	150	10-3	Konverzační videohovory (živé vysílání)
3	GBR	5	300	10-6	Nekonverzační videohovory (vysílání ze záznamu)
4	GBR	3	50	10-3	Hry v Real-time režimu
5	Non-GBR	1	100	10-6	Signalizace IMS
6	Non-GBR	7	100	10-3	Hovor, video (živé vysílání), interaktivní hraní
7	Non-GBR	6	300	10-6	Video (vysílání ze záznamu)
8	Non-GBR	8	300	10-6	služby založené na TCP (WWW, e-mail, chat, FTP, sdílení souborů ...)
9	Non-GBR	9	300	10-6	

Způsob jakým plánovač v MAC zpracovává pakety odeslané přes nositele služby (např. z hlediska plánování politik, řízení front a tvarování provozu) je dán konfigurací režimu RLC, který je určen prioritou a zpožděním paketů (a do jisté míry i přijatelnou ztrátovostí paketů) na značce QCI. Například, lze očekávat, že paket s vyšší prioritou bude zařazen před paket s nižší prioritou.

8 Rozvoj LTE

Po uvolnění LTE Release 8 začalo konsorcium 3GPP hledat způsoby, jak dále rozvíjet a stavět na stávající technologii LTE tak, aby zůstala předním světovým standardem pro mobilní širokopásmové připojení.

Zvýšeného výkonu může být v zásadě dosaženo dvěma způsoby – pomocí širšího rádiového spektra, nebo účinnějším využitím dostupného spektra.

Mezi hlavní složky LTE-Advanced, které byly přidány do LTE Release 10, jsou:

- Agregace nositelů služby (*Carrier Aggregation*)
- Rozšířený downlink a uplink pomocí vícenásobných přenosů
- Relaying
- Podpora nasazení v heterogenních sítích

Rychlosti přenosu dat řádově 1 Gbit/s by mohlo být teoreticky dosaženo za použití sousedících 40 MHz pásem. Avšak boj o spektrum a roztržitost dostupného spektra činí nerealistické očekávat ve většině případů tak velké souvislé plochy šířky pásma. K dosažení velké šířky pásma používá technologie LTE-Advanced principu agregace nositelů služby (*carrier aggregation*). To přináší výhodu omezení nákladů na zařízení a umožňuje znovu využít technologie vyvinuté pro LTE Release 8. Každý „nositel služby“ v rámci agregace je naprojektován tak, aby byl v podstatě podobný LTE Release 8, konfigurován se zpětnou kompatibilitou a mohly být použity starší UE. V LTE-Advanced může být agregováno až pět dílčích „nositelů služby“ s šířkou pásma až 20 MHz, každý k efektivnímu využití dostupného spektra. Tím je umožněno dosáhnout požadované celkové šířky pásma a špičkové rychlosti přenosu dat.

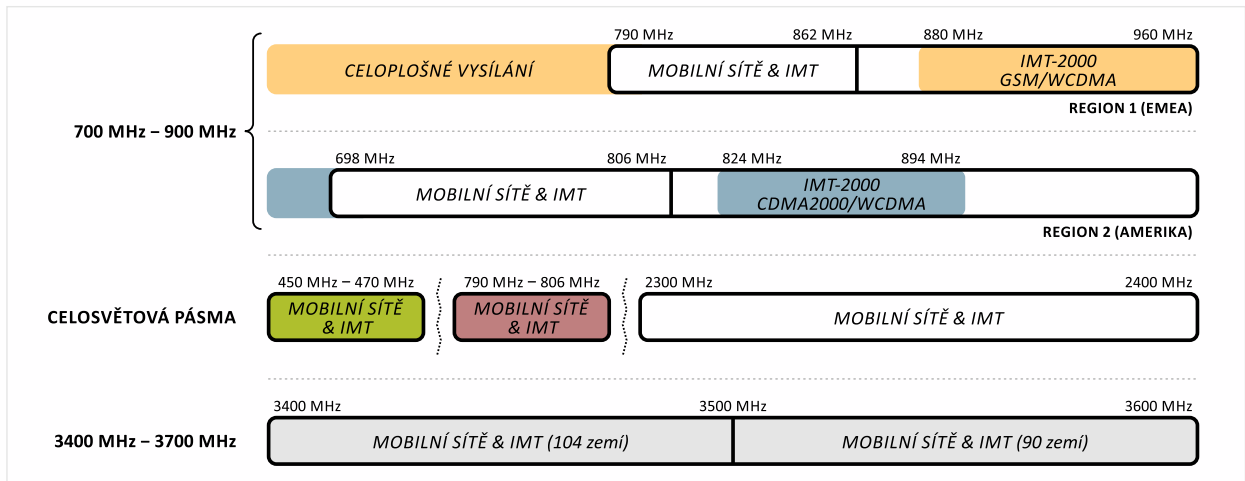
LTE-Advanced může také využít agregace nositele služby pro podporu nasazení v heterogenních sítích, ve kterých koexistují vrstvy makrobuněk a vrstvy malých buněk alespoň s jedním společným nositelem služby. V takovém rozložení mohou přenosy z jedné buňky výrazně interferovat s řídicími kanály druhé, čímž brání plánování a signalizaci. LTE-Advanced umožňuje řídit plánování mezi nositeli služby tak, aby nedocházelo k interferenci mezi makrobuňkami a malými buňkami.

Existence mezinárodně identifikovaných společných frekvenčních pásem je klíčovým faktorem pro významné úspory ve vývoji a výrobě terminálů. Klíčovým výsledkem konference WRC-2007 (Světové radiokomunikační konference, která se konala v Ženevě v roce 2007) bylo přidělení celkem 136 MHz nového globálního spektra pro použití v mezinárodní mobilní telekomunikaci s označením rádiové technologie:

- 450–470 MHz;
- 790–806 MHz;
- 2300–2400 MHz.

Byla alokována další pro regiony specifická pásma:

- 790–862 MHz pro ITU Region 1 (EMEA) a ITU Region 3 (Asia Pacific);
- 698–806 MHz pro ITU Region 2 (North and South America) a ITU Region 3 (devět zemí, včetně Japonska, Číny a Indie);
- 3400–3600 MHz alokováno pro mobilní použití primárně pro ITU Region 1 (EMEA v 82 zemích), ITU Region 2 (Amerika v 14 zemích, mimo US/Canada) and Region 3.



Alokace nového globálního spektra, výsledek WRC-2007.

Všechna nová pásma identifikovaná na WRC 2007 jsou obecně platná pro technologie mezinárodní mobilní telekomunikace.