VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ANALÝZA ŘÍDICÍCH PROCEDUR V MOBILNÍCH SÍTÍCH EPS

ANALYSIS OF CONTROL PROCEDURES IN EPS NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Egor Zagumennov**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**
Ústav telekomunikací

Student: Bc. Egor Zagumennov ***ID:*** 168585
Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Analýza řídicích procedur v mobilních sítích EPS

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s mobilními sítěmi EPS a subsystémem IMS. Prostudujte a rozeberte základní typy řídicích procedur vztažených k činnosti terminálů UE v sítích EPS. V závislosti na možnostech Ústavu telekomunikací zachyťte v experimentální síti EPS základní řídicí procedury typu přihlášení/odhlášení, handover, sestavení relací typu datového připojení do Internetu, případně i VoLTE a procedury analyzujte. Na základě nabytých znalostí a zkušeností navrhněte laboratorní úlohu pro předmět MKPM a vypracujte k ní návod.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GUNNAR, H. Long Term Evolution - Signaling & Protocol Analysis. Inacon, ISBN 978-3-936273-61-8, 2009

[2] SESIA S., TOUFIK I., BAKER M., LTE – the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-470-69716-0, GB, 2009

Termín zadání: 1.2.2016 ***Termín odevzdání:*** 25.5.2016

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

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., *předseda oborové rady*

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je seznámení s mobilními sítěmi EPS a subsystémem IMS. Práce je zaměřena na analýzu řídicích procedur, vztažených k činnosti mezi terminálem a paketovým jádrem sítě čtvrté generace, jako je přihlášení do systému, registrace uživatele, změna sledovací oblasti, handover, odpojení od sítě.

Klíčová slova

LTE, EPS, EPC, IMS, řídicí procedury, handover, eNodeB, MME, S-GW, P-GW, UE

Abstract

The aim of this thesis is acquaintance with the EPS system of LTE and IMS subsystem. The thesis is aimed on analysis of the control procedures related to operations between the terminal and the packet core network of the fourth generation such as logging into the system, user authentication, change the viewing area, handover and disconnection from the network.

Keywords

LTE, EPS, EPC, IMS control procedures, handover, eNodeB, MME, S-GW, P-GW, UE

ZAGUMENNOV, EGOR. *Analýza řídicích procedur v mobilních sítích EPS:* diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2016. 66 s. Vedoucí práce doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Analýza řídicích procedur v mobilních sítích EPS“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno . . . .

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu Doc. Ing Vítu Novotnému, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno . . . .

(podpis autora)

Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic

http://www.six.feec.vutbr.cz

PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsaný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Místo . . . . . .

. . . . . .

podpis autora(-ky)

EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI

Obsah

Seznam Obrázků

Úvod

Mobilní sítě jsou v dnešní době velmi důležitou částí lidského života. S rychlým vývojem mobilních systémů uživatelé používají datové služby stejně jako hovorové služby. Mobilní systém se používá jako nahrazení pevné sítě, ale vzhledem k mobilitě uživatele se tento systém stává obtížnějším.

Nejnovějším trendem pro kvalitnější a rychlejší komunikaci je LTE systém, který efektivně využívá šířku spektra díky metodě přístupu OFDMA.

Tato práce by měla čtenáře obeznámit s mobilními sítěmi EPS a subsystémem IMS. Hlavní cílem diplomové práce jsou analýza základních typů řídicích procedur, vztažených k činnosti terminálu UE v síti EPS a návrh laboratorní úlohy pro předmět MKPM a vypracování k ní návodu.

Diplomové práce je členěna na šest části. První kapitola představuje vývoj mobilních systémů. Druhá kapitola se seznámí čtenáře s typy modulace, které se používají pro LTE systém ve směru uplink a downlink. Třetí kapitola se zabývá architekturou sítí čtvrté generace, podsystému IMS a jejími hlavními jednotkami. Čtvrtá kapitola představuje protokolový model E-UTRAN, rozdělení nosičů, uživatelské a řídicí roviny. V páté kapitole jsou popsané řídicí procedury LTE sítě typu přihlášení, odhlášení, handover a datové spojení. Poslední kapitola popisuje univerzitní experimentální síť, její analýzu rádiového rozhraní a řídicích procedur EPC sítě. Na konci diplomové práce je nabídnuta laboratorní úloha pro předmět Komunikační prostředky mobilních sítí.

1. Druhy mobilních sítí

V současné době je obtížné si představit život bez mobilních telefonů. Mobilní sítě jsou používané více než tři desítky let. Během tohoto období se změnila technologie přenosu hlasu přes radiové vlny od analogové sítě první generace až po nejnovější generace 4G. Aktuální trendem je rozšiřování možností datové komunikace a přístupu na Internet.

1.1. První generace mobilních systémů

První generaci mobilních systémů byly analogové radiotelefonní mobilní systémy. Na uživatelském rozhraní tato generace využíval FDMA (*Frequency Division Multiple Access, Vícenásobný přístup s frekvenčním dělením*) a modulaci FM (*Frequency Modulation, Frekvenční Modulace*). NMT (*Nordic Mobile Telephony, Mobilní telefonie v Norsku*) je příklad těchto systémů, které byl zprovozněn na začátku 1980 let. NMT systémy využíval na radiovém rozhraní frekvencí v pásmu 450 nebo 900 MHz. Tento systém používal plně duplexní provoz a umožňoval mezinárodní roaming.[1]

1.2. Druhá generace mobilních systémů

Druhou generaci mobilních systému jsou digitální buňkové mobilní radiotelefonní systémy. GSM (*Global System for Mobile Communication, Celosvětový standart pro Mobilní Komunikace*) je nejrozšířenější standard, který je příkladem tohoto systému. Tento systém na rozdíl od systémů první generace se vyznačuje vyšší kapacitou, značně ztěžuje odposlech hovorů a umožňuje jejich šifrování, větší nabídkou funkcí. Systémy GSM se ve světě používají od roku 1992. [1]

Pro GSM se využívá čtyři různých frekvenčních pásem 850, 900, 1800, 1900. Na radiovém rozhraní se používá pro každý rádiový kanál časové dělení a princip TDMA (*Time Division Multiple Access, Vícenásobný přístup s časovým dělením*), co umožňuje využití jednoho kmitočtu v jedné buňce více uživateli současně a zároveň snižuje spotřebu. V TDMA rámci se přenáší kromě užitečných dat od několika uživatelů také řídicí informace. Rychlost datových přenosů je 9,6 kb/s.

Zvyšováním přenosové rychlosti ve standartu GSM došlo použitím systému EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution, Vylepšení dat pro vývoj GSM*). V porovnání s běžným GSM je zde použita modulace 8–PSK (*Phase Shift Keying, Fázový posun*). Rychlost datových přenosů je mezi 100 až 240 kb/s.[1]

1.3. Třetí generace mobilních systémů

Zkratka UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System, Univerzální mobilní systém*) se používá pro označení třetí generaci mobilních systémů. To je další stupeň vývoje GSM sítí v rámci 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project, Partnerský projekt třetí generace*). Třetí generace začala nastupovat v roce 2001 v Japonsku. Pro přenos dat na rozhraní mezi mobilní stanicí a sítí UMTS se využívá WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access, Širokopásmový vícenásobný přístup s kódovým dělením*) na frekvencích 1885MHz až 2025MHz. Rychlost datových přenosu 384 kb/s. [1]

Pro zvyšování kapacity W-CDMA a efektivnější využívání kmitočtové spektra UMTS byl rozšířen na systém HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access, Výsokorychlostní paketové spojené ve směru downlink*) s teoretickou přenosovou rychlosti 14,4Mb/s. Mobilní terminály měly být schopné využívat rychlosti maximálně do 1,8 Mbit/s. Tento systém je často označován jako 3,5G. [1]

1.4. Čtvrtá generace mobilních systémů

LTE (*Long Term Evolution*) je technologie identifikovaná pro vysokorychlostní Internet v mobilních sítích, která se používá pro čtvrté generace mobilních systém. LTE zvyšuje rychlost pomocí nové metody zpracování signálu a modulace. Nejvyšší teoretická přenosová rychlosti ve směru downlink je 172,8 Mb/s a ve směru uplink 57,6 Mb/s. [3]

Systém LTE využívá ortogonální frekvenční multiplex tzv. OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením*), který bude popsán v podkapitole 2.1. Díky tomu je dané spektrum využito maximálně.

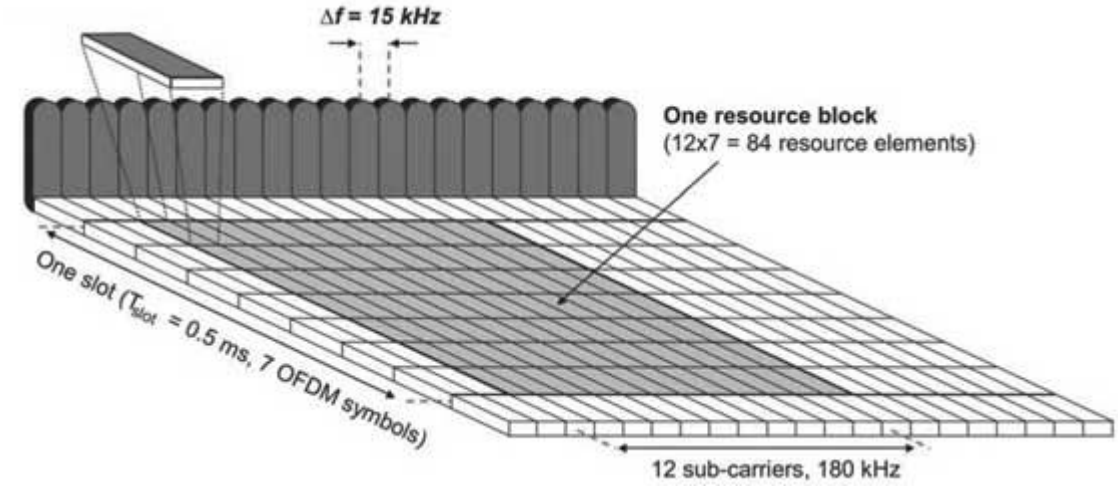
2. Rádiové kanály LTE

Systém LTE umožňuje symetrické a asymetrické komunikaci. Při symetrické komunikaci používá downlink a uplink, které mají vzájemně vzdálené odlišné nosné kmitočty. Výhodou tohoto typu komunikaci je vyšší přenosová rychlost. Při asymetrické komunikaci spojení se naváže na konstantním kmitočtu a komunikace probíhá v časových okamžicích střídavě.

2.1. OFDM

LTE používá OFDM pro downlink - to znamená, že pro přenos dat od základnové stanice k terminálu. OFDM je frekvenční multiplex, který používá jako digitální způsob modulace s více nosnými, viz obr. 1. [10]

Co se týče techniky OFDM, její princip spočívá v tom, že se dané kmitočtové pásmo (1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz) rozdělí do subpásem s kmitočtovým odstupem 15kHz. V časové oblasti se data přenášejí po symbolech doplněných o cyklický prefix, který slouží jako ochrana před vícecestným šířením signál. Počet bitů přenesených v jednom symbolu závisí na modulačním schématu, a bývá 2, 4 nebo 6 bitů pro modulace QPSK (*Quadrature phase-shift keying, Kvadraturní klíčování fázovým posuvem*), 16QAM (*Quadrature amplitude modulation, Kvadraturní amplitudová modulace*) a 64QAM.[4]



Obr. 1: Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Převzato z [10]

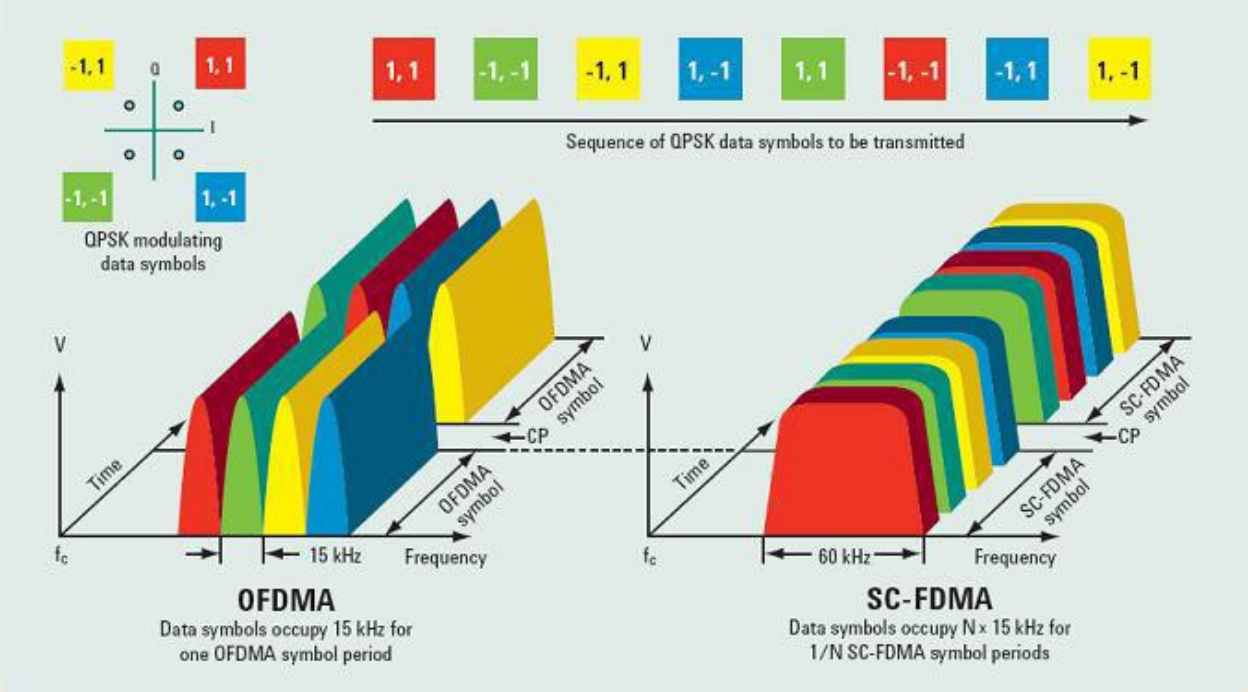
OFDM symboly jsou seskupeny do zdrojových bloků. Tyto zdrojové bloky mají celkovou velikost 180kHz ve frekvenční doméně a 0,5 ms v časové oblasti. Každému uživateli je přidělen určitý počet takzvaných zdrojových bloků. Čím více zdrojových bloků uživatel dostane, tím vyšší je modulace používaná ve zdrojích a tím vyšší je přenosová rychlost. [10]

Hlavní výhodou OFDM je jeho schopnost vyrovnat se s drsnými podmínkami v kanálu (například, oslabení vysokých kmitočtů v měděném drátu) bez složitých vyrovnávacích filtrů.[10]

2.2. SC-FDMA

Pro uplink v systému LTE se využívá modulace SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiplex Access*), která využívá modulaci na jedné nosné. Tato modulace je zavedena s cílem maximalizovat životnost baterie v mobilním zařízení. Ne jedné nosné se po šířku pásma N*15 kHz vysílá signál po dobu 1/N, kde N je počet vyžitých subnosných. Rozdíl mezi OFDM a SC-FDMA je zobrazen na obrázku 2.

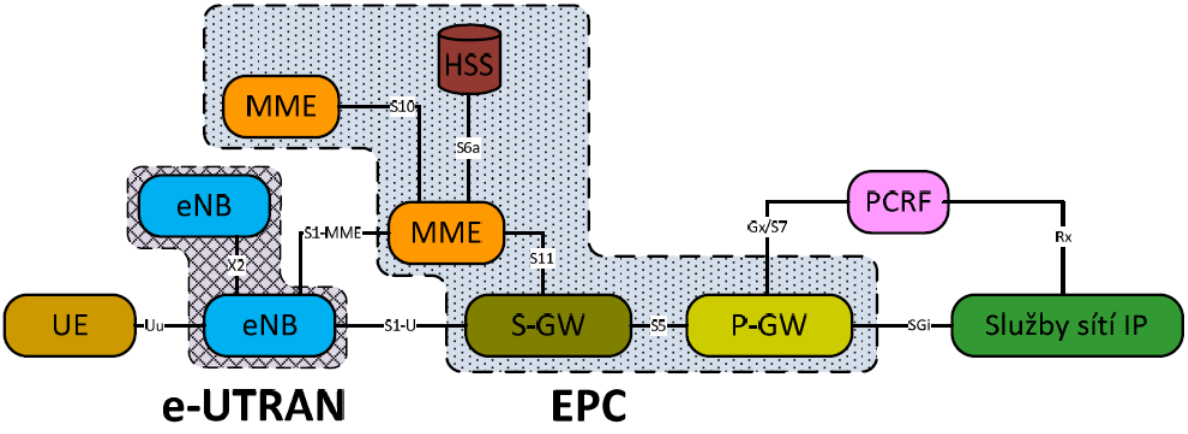
V případě SC-FDMA, datové symboly jsou přenášeny postupně. Počet přenášených datových symbolů za jedné období SC-FDMA symbolů přímo souvisí s počtem nosných. Období SC-FDMA symbolů má stejnou délku jako OFDMA symbol, ale díky sériovému přenosu datové symboly jsou kratší. V souvislosti se zvýšením rychlosti sledovaní symbolů je potřebné pro přenos širší šířku pásma. Výsledkem je, že každá znak je ve spektru 60 kHz.



Obr. 2: OFDM a SC-FDMA v systému LTE. Převzato z [20]

3. Architektura EPS

LTE se skládá ze dvou hlavních částí, E–UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Access Network, Vylepšená Univerzální Přístupová síť*) a EPC (*Evolved Packet Core, Vylepšené paketové jádro*). EPC představuje páteřní síť a E-UTRAN představuje přístupovou síť. Na obrázku 3 vidíme hlavní části sítí čtvrté generace. V dalších bodech se bude zabývat o hlavních blocích, její rozhraní a bezdrátové protokolech architektury LTE.



Obr. 3: Architektura sítí EPS. Převzato z [4]

3.1. Hlavní bloky

UE (*User Equipment, Uživatelské zařízení*) je uživatelské zařízení pro účastníka LTE síti, které musí mít unikátní SIM kartu. Na této kartě běží jedna z aplikace – buďto USIM (*Universal Subscriber Identity Module, Univerzální Identifikační karta*), nebo ISIM (*IP Multimedia Subsystem SIM*), nebo společná UICC (*Universal Integrated Circuit Card, Univerzální Integrovaná karta*).Tato aplikace obsahuje telefonní číslo uživatele a domovskou síť. [11]

E–UTRAN zpracovává rádiovou komunikaci mezi mobilními zařízeními a EPC za pomocí eNodeB (*evolved Node B; Blok, který je připojen k mobilní telefonní síti, který komunikuje přímo s mobilními telefony*). eNodeB je základnová stanice, která řídí mobilní zařízení v jedné nebo více buňkách. Hlavní funkce eNodeB:

- přenášení rádiového signálu do všech mobilních zařízení na downlink;
- doručování signálu z uplinku pomocí analogového a digitálního zpracování;
- kontrola operace pro všechny mobilní zařízení. [9]

V části EPC se nenachází bloky pro komutovaný přenos, protože EPC řídí celou síť. EPC se skládá z MME (*Mobile Management Entity, Klíčový řídicí uzel pro přístupové sítě*), HSS (*Home Subscribe Server, Domovský účastnický server*), S-GW (*Serving Gateway, Služební výchozí brána*) a P-GW (*PDN Gateway - Výchozí brána pro paketový přenos*).

MME je hlavní řídicí prvek sítě LTE, který má za úkol řízení mobilního provozu. Stará se o signalizační a řídicí funkce důležité pro připojení UE do sítě, přidělení zdrojů sítě a řízení mobility UE v síti, tedy o paging, roaming a handover. MME se stará o šifrování pro zajištění odolnosti proti odposlechu. Síť může obsahovat více MME, kde každá MME je odpovědná za jednu vyhrazenou oblast. [11]

HSS je centrální databáze všech účastníků v síti, která obsahuje informace o jejich povolení využívat různé služby. HSS je spojena se všemi MME v síti a zasílá jim kopie uživatelských profilů. Tento blok se také stará o autentičnost. [2]

S-GW slouží, mimo jiné, pro kompatibilitu mezi systémy 2G, 3G a LTE. Síť obsahuje několik S-GW bran, z nichž se každá brána stará o vyhrazenou oblast. S-GW má na starosti uživatelskou rovinu přenosu dat a je také zodpovědná za handovery mezi sousedními eNodeB. Monitoruje a spravuje kontext informací spojených s UE během klidového režimu a sestavuje směrem k ní datové spojení. Každé mobilní zařízení je přiřazeno k jedné S-GW bráně, která se změní, pokud mobilní zařízení opustí vyhrazenou oblast. [2]

P-GW je brána, která poskytuje připojení od UE do externí paketové datové sítě, jako vstupní a výstupní bod pro uživatelský provoz. Každé mobilní zařízení musí být připojené k P-GW, aby bylo připojeno k výchozí paketové síti. Později může být mobilní zařízení připojeno k více P-GW branám. Všechny P-GW brány zůstávají stejné po celou dobu připojení mobilního zařízení. V rámci P-GW je uskutečňováno řízení přístupu, filtrování paketů pro uživatele, účtování. Za tím účelem kontaktuje PCRF, aby zjistilo, jaká oprávnění konkrétní uživatel má, a předávalo zúčtovací informace. [2]

PCRF (*Policy and Charging Rules Function, Pravidla pro účtování služeb a pro kvalitu*) dohlíží na kvalitu služeb QoS (*Quality of Services, Kvalita služeb*) a vyúčtování služeb. [2]

3.2. IMS podsystém

IMS (*IP Multimedia subsystem*) je koncept pro telekomunikační sítě, které by vylepšilo využití IP (*Internet Protocol*) pro paketové komunikaci ve všech známých formách bezdrátových komunikace nebo pevných sítí. Příklady takových komunikace zahrnují tradiční telefonie, fax, e-mail, Přístup na internet, Webové služby, VoIP (*Voice over IP*), IM (*Instant messaging*), videokonferenci a vyhledávání videa.

IMS architektura se skládá z několika signalizačních entit, jako jsou P-CSCF (*Proxy-Call Session Control Function*), I-CSCF (*Interrogating-Call Session Control Function*), S-CSCF (*Serving-Call Session Control Function*) a HSS (Home Subscriber Server). Na obrázku 4 je znázorněná IMS architektura s vyznačenými síťovými rozhraními.

P-CSCF je prvním kontaktním blokem IMS sítě, který obdrží požadavek, přepošle ho k cíli a poté přepošle zpět odpověď. Veškerá SIP (*Session Initiation Protocol, protokol pro inicializaci relací*) signalizace pro uživatele jde přes tento bod. Hlavní funkce P-CSCF:

- integrita SIP signalizace a zabezpečení pomoci IPSec
- komprese a dekomprese SIP zpráv pro rádiové rozhraní
- komunikace s PCRF
- ochrana spojení mezi UE a P-CSCF

S-CSCF je centrálním bodem celé IMS. Vždy je nachází v domácím subsystému IMS pro každého uživatele. Dohlíží na spojení a registrační služby uživatelů. Hlavní funkce S-CSCF:

- Zpracovává SIP registrace
- Poskytuje směrovací služby
- Komunikuje s HSS serverem
- Prosazuje pravidla síťového operátora

I-CSCF je kontaktním uzlem v síti operátora. Vždy je nachází v domovské síti. Jeho IP adresa obvykle uveřejněna v doméně DNS. Hlavní funkce I-CSCF:

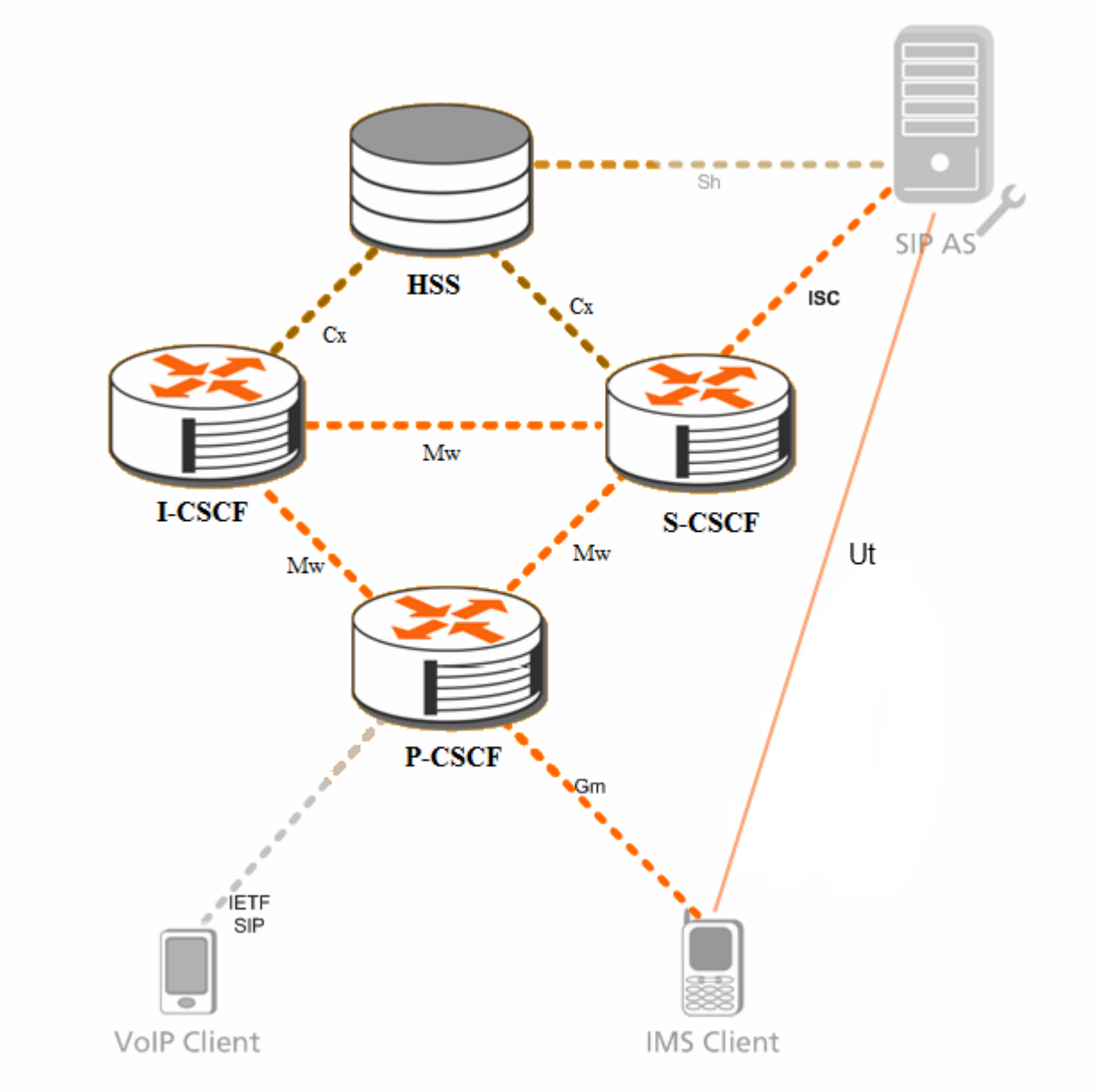
- výběr správného S-CSCF pomocí HSS
- přeposílání SIP dotazů a odpovědí od S-CSCF
- schopnost ukrytí topologie IMS subsystému pro jiné IMS sítě [17]

Rozhraní Gm propojuje UE a P-CSCF - přenáší veškerou SIP signalizaci mezi koncovým zařízením a IMS sítí. Procedury, které přenáší, se dají rozdělit do tří skupin: registrace, řízení relace a transakce.

Rozhraní Mw slouží k vzájemnému propojení entit CSCF. Mw pracuje na protokolu SIP. Procedury rozhraní rozdělují do tří skupin: registrace, řízení relace a transakce.

Rozhraní Ut se nachází mezi UE a aplikačním serverem VoLTE. Ut poskytuje uživatelské konfigurací s doplňkové služby pro VoLTE službu.

Cx je rozhraní mezi HSS a CSCF. Komunikace po tomto rozhraní probíhá podle protokolu DIAMETER. HSS obsahuje základní informace o uživatelích je odpovědný za ukládání uživatelských a servisních dat. Tyto informace jsou používány entitami I-CSCF a SCSCF, když uživatel vytváří nebo přijímá relace. Jdou přes něj tři hlavní procedury: manipulace s uživatelskými daty, autentizace, správa polohy. [17]



Obr. 4: IMS architektura. [18]

3.3. IMSI

IMSI (*International Mobile Subscriber Identity, Unikátní číslo přidělené mobilním operátorem pro SIM kartu v mobilní síti*) je jedinečný identifikátor, který globálně identifikuje mobilního účastníka. Pomoci IMSI, operátoři mohou umožnit účastníkovi pokusy o přístup k jejich síti, nebo ne. Také je třeba identifikovat své účastníky aby rozhodnout, která QoS politika (šířka pásma, priorita, atd.) platí pro každého z nich, a nakonec účtovat za poskytnuté služby pro každého účastníka. IMSI se skládá ze tří částí:

- MCC (*Mobile Country Code*) identifikuje jedinečně země bydliště uživatele
- MNC (*Mobile Network Code*) je jedinečný identifikátor operátora mobilní sítě
- MSIN (*Mobile Subscriber Identification Number*) je jedinečný identifikátor, který identifikuje účastníka v rámci mobilního operátora [21]

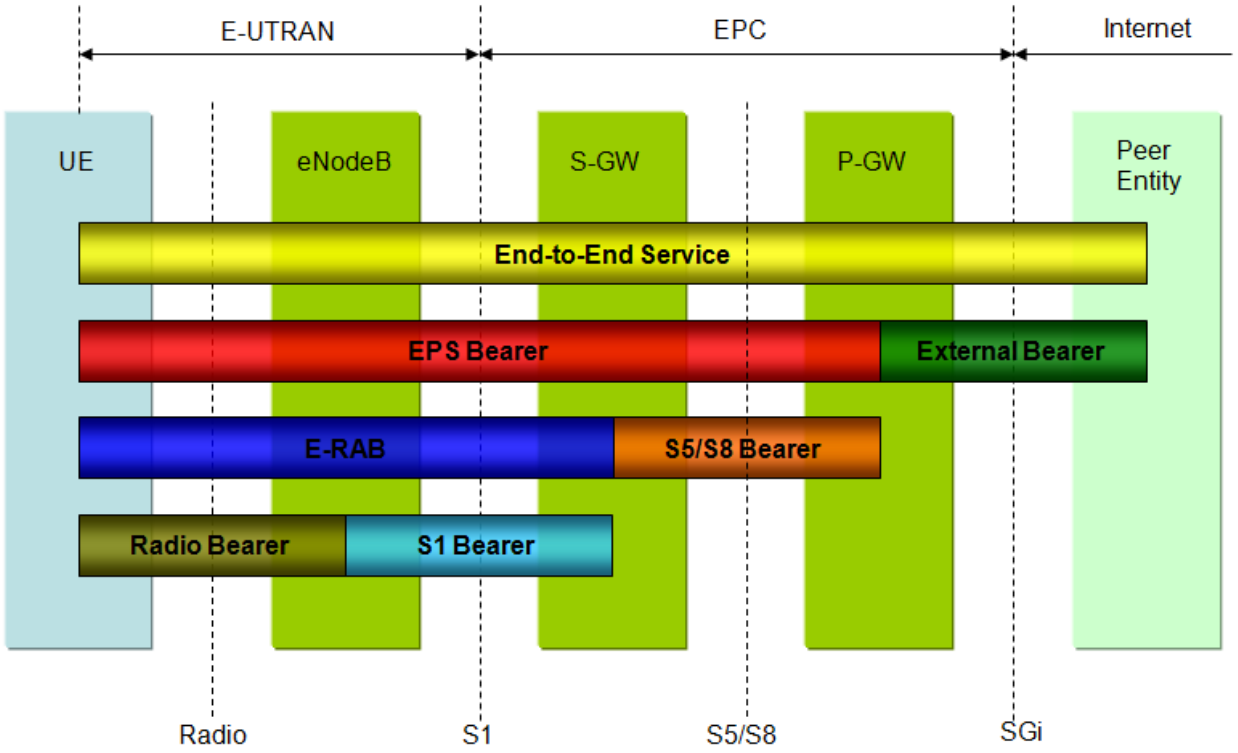
Když se uživatel přihlásí k využití mobilní sítě, uživatel v svoje zařízení má USIM kartu s IMSI v něm. V té době, LTE sít' by měla už mít stejný registrování IMSI. IMSI jsou uloženy v HSS. Když se uživatelé pokusí získat přístup, HSS zakáže přístup uživatelem s neregistrovaným IMSI, ale umožňuje uživatelem s platným registrovaným IMSI tím, že poskytuje informace o ověřování na MME. [21]

Pro udržení zabezpečení IMSI je potřeba alternativní hodnoty, které UE může použít místo IMSI (pokud je to možné) pro přístup k síti LTE. To je důvod, proč se používá GUTI. Na rozdíl od IMSI, GUTI není trvalé a se změní na novou hodnotu kdykoli se vygenerován.

Jakmile je navázáno spojení (tj. jakmile úspěšně ověřen), MME doručí hodnotu GUTI do UE, který pak pamatuje hodnotu pro použíti jako ID namísto IMSI, když se znovu připojí k síti po vypnutí. MME může určit GUTI pro UE v průběhu procesu sledovací oblasti. To znamená, že GUTI je dočasný identifikátor, který identifikuje UE a může být změněn na novou hodnotu, i když UE zůstává připojené k síti.[21]

4. Protokolový model LTE sítě

Pokud spolu zařízení chtějí komunikovat, musí mít předem definovaný protokol. Spojení od uživatele k uživateli přes LTE se provádí pomocí nosiče služby. Tato část popisuje nosiče a rozhraní, které se nachází mezi bloky v LTE sítě. Architektura nosiče služby je uvedena na obrázku 5.



Obr. 5: Rozdělení nosičů. Převzato z [21]

Nosič je spojení mezi dvěma body, který je vymezen určitou sadou vlastností. Vždy, když UE je opatřena jakýmkoli službám, tato služba musí být spojena s rádiovým nosičem, který určují konfiguraci druhé vrstvy a fyzické vrstvy pro splnění QoS. Rádiový nosič přepravuje pakety EPS nosiče mezi UE a eNodeB. EPS nosič obsahuje pouze jeden rádiový nosič. Tady se nachází rozhraní rádiového přístupu Uu.

Nosič S1 přepravuje pakety EPS nosiče mezi eNodeB a S-GW, to znamená mezi E-UTRAN a EPC. Tady se nachází S1 rozhraní. Každý eNodeB je spojen s více MME a S-GW. Komunikace se skupinou MME/S-GW, pokrývající stejnou geografickou oblast, nabízí redundance a zátěže sdílení. S1u je uživatelské rovina mezi eNodeB a S-GW, které přiřadí úroveň služeb a prioritu každému paketu. S1mme je řídicí rovina meze ENODEB a MME, která poskytuje jisté doručení dat.

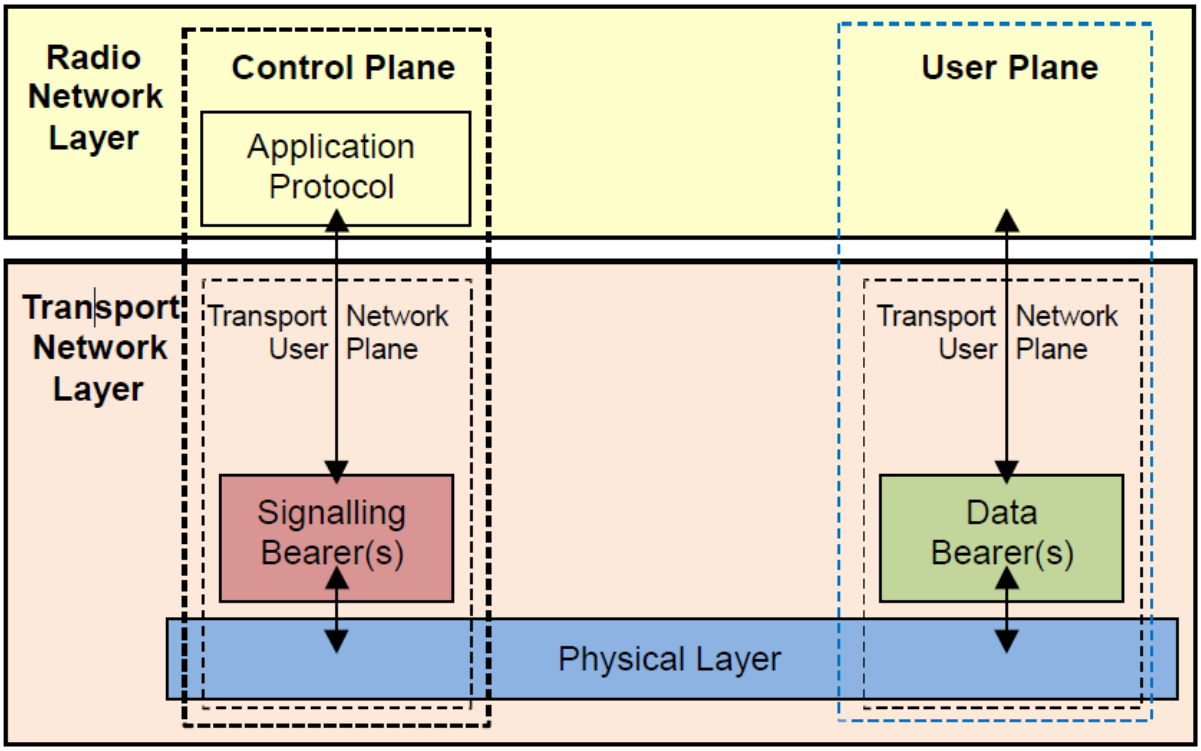
S5/S8 nosič přepravuje pakety EPS nosiče mezi S-GW a P-GW. Tady se nachází S5/S8 rozhraní. S5 je taková interní síť'. S8 se používá pro roaming, když se SGW nachází v jiné EPC.

X2 rozhraní umožňuje jednomu eNodeB komunikovat přímo s druhým eNodeB. Toto rozhraní se používá k řízení mobility, signalizaci a přeposílání paketů během handoveru. Takže X2 se stará o řízení interference a zpracování chyb. Řídicí data se přenáší pomocí protokolu SCTP. Protokolová výbava řídicí roviny je znázorněna na obrázku 9.

Architektura bezdrátového protokolu pro LTE se může rozdělit na dvě hlavní vrstvy, jak je uvedeno na obrázku 6. Nižší vrstva se stará o přenos dat z jednoho bodu do druhého.

Vyšší vrstva se dělí na uživatelskou rovinu (User plane) a řídicí rovinu (Control plane). Uživatelská rovina má hlavní význam pro uživatele a využívá se pro přenos dat. Řídicí rovina zpracovává signalizační zprávy uvnitř struktury LTE. [2]

Na radiovém rozhraní, je tento protokol rozdělen na více vrstev a to AS (*Access stratum, Přístupová vrstva*) a NAS (*Non access stratum, Nepřístupová vrstva*). Signalizační zprávy náleží NAS vrstvě a jsou přenášeny pomocí AS protokolu na rozhraních S1 a Uu. [2]



Obr. 6: Protokolový model E-UTRAN rozhraní. Převzato z [10]

4.1. Access Stratum

AS je funkční vrstva v UMTS a LTE, která poskytuje prostředky pro přenos informací přes vzdušné rozhraní a také k jejích řízení. Rádiová síť' je také se nazývá AS. Rádio přístupové protokoly v E-UTRAN se skládají z dalších funkcí:

- Řízení rádio prostředků provádí ovládání rádio nosičem, řízení rádio přijeti, ovládání mobility připojení a dynamickou alokaci pro použití v uplink a downlink;
- Podporuje v reálném a nereálném čase uživatelskou komunikaci mezi NAS a UE;
- Podporuje různé typy provozu, úroveň aktivity, propustnosti, zpoždění při přenosu;
- Přistoupení k MME pro UE, pokud neposkytuje MME informace na UE;
- Směrování uživatelské roviny dat směrem k S-GW;
- Plánování a přenos pagingových zpráv;
- Plánování a přenos všesměrové informace;
- Měření a hlášení měření pro mobilitu a plánování;
- Poskytuje počáteční přístup k síti, registrace, připojení a odpojení ze sítě;
- Kódování radiového kanálu.

4.2. Non Access Stratum

Postupy NAS jsou zásadně podobné UMTS. Hlavní změnou oproti UMTS je to, že EPS umožňuje rychlejší vytvoření spojení s nosičům. MME vytváří UE kontext, pokud je UE zapnuté a se připojené k síti. To přiřadí jedinečné dočasné identity, která se nazývá TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*) do UE, který identifikuje kontext UE v MME. Tento UE kontext obsahuje uživatelské informace, která je stažená z HSS. Lokální uložené uživatelských dat v MME umožňuje rychlejší provádění postupů, jako jsou založení nosiče. Kromě toho UE kontext je také držitelem dynamické informace, jako je například seznam nosiče, které jsou založení. [9]

Za účelem snížení režijních nákladu v E-UTRAN a zpracování v UE, veškeré informace v přístupové síti, včetně rádiové nosiče, může být uvolněna během dlouhých období nečinnosti dat. To je stav Idle (očekávání).

Idle mode je jeden ze stavu RRC s neaktivním rádio nosičem, ale ID je přiděleno a běží proces sledovaný sítí. Idle stav se zabývá opakovaným výběrem buňky, výběrem sítě, přijetím a pagingem. Přístupní režim měří, vysílá a přijímá data. [12]

Idle mode se zapne v dalších případech:

- Když není NAS signalizace.
- Když UE neposílá/nepřijímá žádná data a zdroje jsou osvobozeny.
- Když neexistuje žádné rádiové spojení.
- Když neexistuje S1mme/S1u spojení.
- Když S5/S8 nosič zůstává na místě pro příchozí hovory a další služby. [13]

V případě, že je potřeba předávat data na UE ve stavu IDLE, MME vyšle pagingovou zprávu všem uzly eNodeB v aktuální sledovací oblasti, který přepošle tu zprávu dal k UE. Po přijetí pagingové zprávě, UE provádí přesunutí do stavu připojení. Pak se aktualizuje informace o UE v E-UTRAN a rádiové nosič je znovu stanoven. Pro urychlení Idle-to-aktivní přechodu a stanovení nosiče, EPS podporuje NAS a AS postupy pro aktivace nosiče. [9]

Funkce zabezpečení jsou na zodpovědnosti MME pro signalizaci a uživatelská data. Když UE se připojí k síti, provádí se vzájemné ověřování mezi UE a MME/HSS. Tato funkce zavádí klíče zabezpečení , které se používají pro šifrování nosiče.

4.3. Stručný přehled vrstev

Fyzická vrstva nese všechny informace z dopravních kanálů MAC přes vzdušné rozhraní. Stará se o řízení výkonu, vyhledávání buňky (pro účely počáteční synchronizace a předání) a další měření pro vrstvu RRC. [10]

MAC vrstva je zodpovědná za mapování mezi logickými a přenosovými kanály, plánování informačních hlášení, opravení chyb přes HARQ *(Hybrid Automatic Repeat Request)*, logické stanovení priorit kanálu. [10]

RLC pracuje ve třech režimech provozu: transparentní režim, nepřijatý režim a přijatý režim. RLC vrstva je zodpovědná za převod horní vrstvy, opravy chyb přes ARQ (jenom pro

přijatý režim), segmentace (pouze pro nepřijatý a přijatý režim). RLC je také zodpovědný za re-segmentaci RLC dat (pouze pro přenos přijatý režim), změny pořadí RLC dat (pouze pro nepřijatý a přijatý režim), duplicitní detekce (pouze pro zasílání zpráv) a detekce chyb (jenom pro přijatý režim).[10]

Do hlavní služby a funkce RRC podvrstvy patří vysílání systémové informace související s NAS nebo AS, paging, navázání, údržba a uvolnění RRC spojení mezi UE a E-UTRAN. RRC podvrstva se stará o funkce provozující bezpečnost, včetně řízení klíčů, zřízení, konfigurace, údržbu a uvolnění bodu do bodu radiových nosných. [10]

PDCP vrstva je zodpovědná za kompresi záhlaví a dekompresi IP dat, přenos dat, šifrování a dešifrování dat v uživatelské rovině a řídicí rovině, ochranu integrity a ověření integrity na řídicí rovině. [10]

Protokoly na NAS vrstvě tvoří nejvyšší vrstvu na řídicí rovině mezi uživatelským zařízením a MME. NAS protokoly podporují mobilitu UE a postupy řízení navázaní a udržovaní spojení mezi UE a P-GW. [10]

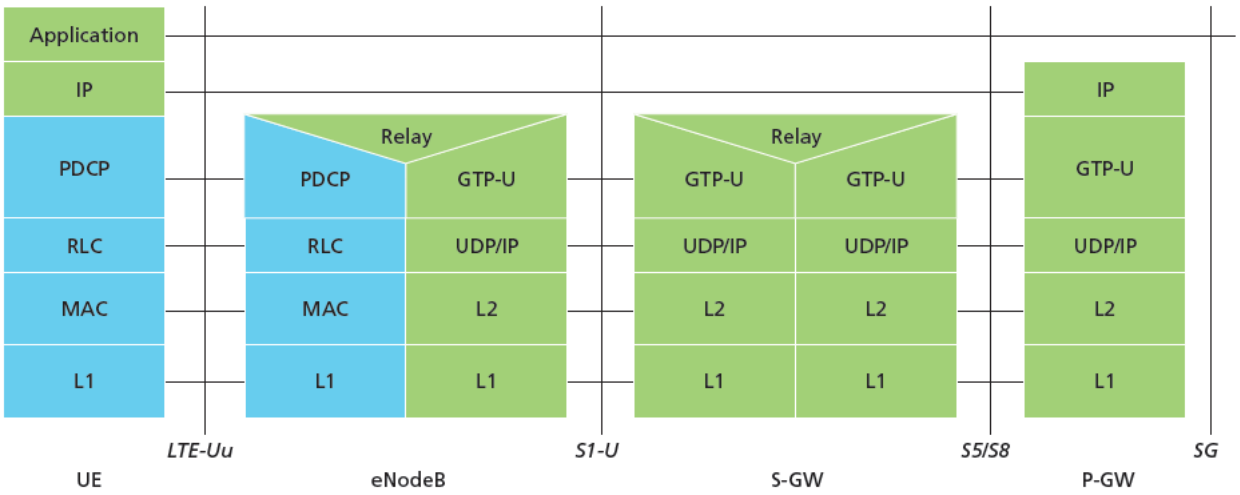
GTP-C (*GPRS Tunnelling Protocol – Control Plane*) je protokol, který byl založen na použití IP v mobilních sítích. Tento protokol může být použit pro TCP a UDP spojení. V sítích LTE se používá GTPv2-C. GTPv2-C protokol se může použít na řídicí rovině mezi MME, S-GW a P-GW. GTP-C se stará o signalizaci EPC nosiče, nastavení a zasílání událostí UE. [14]

4.4. Uživatelská rovina

Uživatelská rovina definuje část směrovací architektury, která rozhodne, co dělat s příchozí pakety. Nejčastěji, to se odkazuje na tabulku, ve které směrovač vyhledá cílovou adresu příchozího paketu a načte informace potřebné k určení cesty z přijímacího prvku. Uživatelská rovina dat přenáší uživatelský síťový provoz.

Sada protokolů uživatelské roviny je znázorněna na obrázku 7 a skládá se z PDCP (*Packet Data Convergence Protocol*), RLC (*Radio Link Control*) a MAC (*Medium Access Control*) podvrstev, které jsou ukončeny v uzlu eNodeB na straně sítě. [2]

V uživatelské rovině jsou pakety do hlavní sítě zapouzdřeny v určitém EPC protokolu a jsou tunelovány mezi P-GW a eNodeB. Různé protokoly tunelového propojení se používají v závislosti na rozhraní. GTP (*GPRS Tunneling Protocol*) se používá na rozhraní mezi S1 eNodeB a S-GW a na rozhraní S5 / S8 mezi S-GW a P-GW. [10]

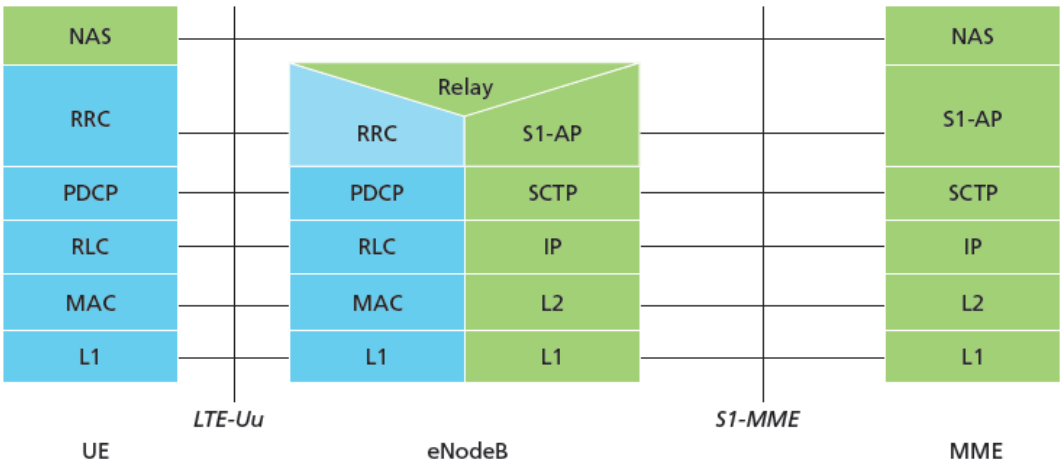


Obr. 7: Protokolový model E-UTRAN na uživatelské rovině EPS. Převzato z [9]

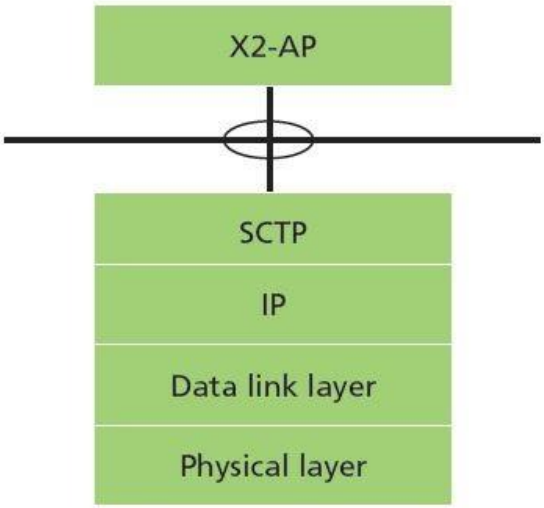
4.5. Řídicí rovina

Řídicí rovina je součástí směrovací architektury, která se zabývá kreslením topologii sítě, nebo informace v směrovací tabulce. Ve většině případů, směrovací tabulka obsahuje seznam cílových adres a odchozích rozhraní, které jsou s nimi spojené. Řídicí rovina dat přenáší signalizační provoz. Sada protokolů řídicí roviny mezi UE a MME je znázorněna na obrázku 8. Modrá oblast označuje AS protokoly. Řídicí rovina obsahuje navíc vrstvu RRC (*Radio Resource Control*), která je zodpovědná za konfiguraci nižší vrstvy. Nižší vrstvy mají stejnou funkci jako v uživatelské rovině s výjimkou, že neexistuje žádná funkce komprese záhlaví pro řídicí rovinu. Řídicí rovina zpracovává specifické funkce, které závisí na stavu uživatelského vybavení, které obsahuje dva stavy: Idle a přístup. [10]

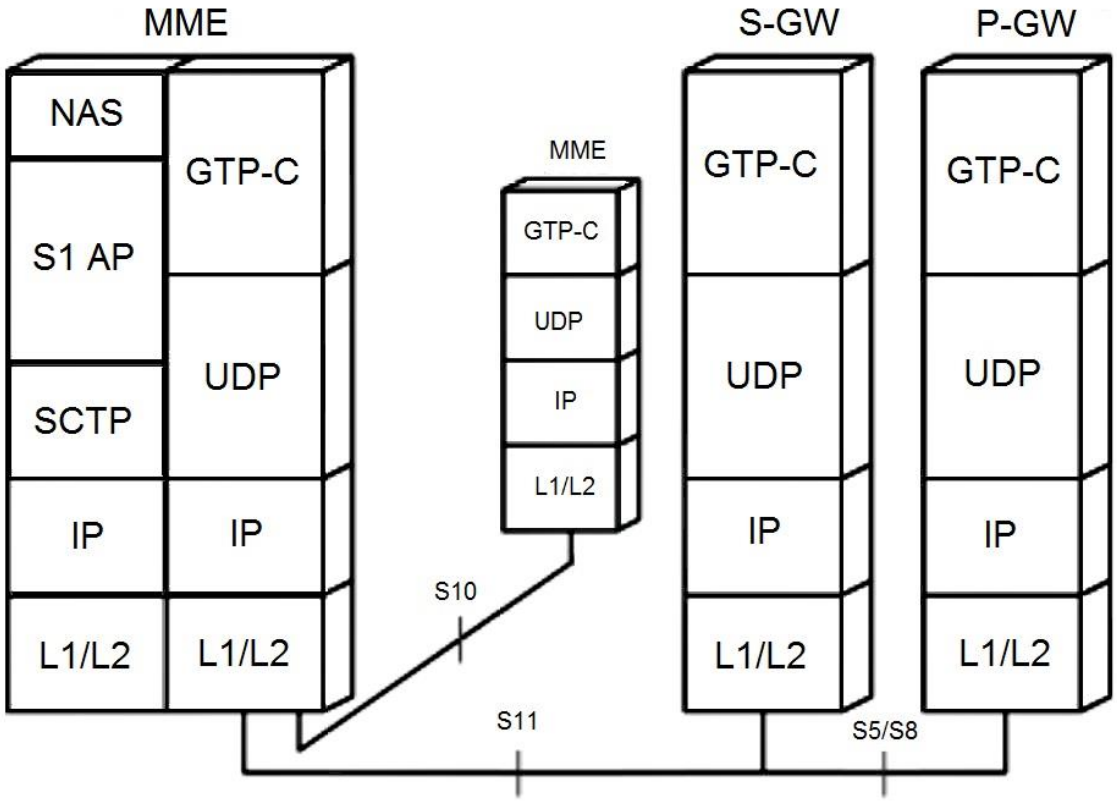
Na obrázku 10 je uvedena sada protokolů řídicí roviny páteřní sítě. Nižší vrstvy mají stejnou funkci jako pro řídicí rovinu přístupové sítě. Na transportní vrstvě se používá protokol UDP, na vyšší vrstvě se nachází GTP-C protokol, který používán nést GPRS (*General Packet Radio Service*) LTE sítí.



Obr. 8: Protokolový model E-UTRAN na řídicí rovine rádiové přístupové sítě.Převzato z [9]



Obr. 9: Protokolová výbava řídicí roviny rozhraní X2. Převzato z [9]



Obr. 10: Protokolový model řídicí roviny E-UTRAN páteřní sítě [14]

5. Procedury v LTE

Proto, aby mobilní stanice mohla provádět řídicí operace pro uživatele, je důležité, aby mobilní stanice byla připojena k eNodeB. Tato kapitola se bude zabývat řídicími procedurami v sítích LTE od chvíle připojení účastníků k síti do okamžiku vypnutí mobilu. Dále budou probrané procedury navázání spojení, spojení s uživatelem, ukončení hovoru a handover.

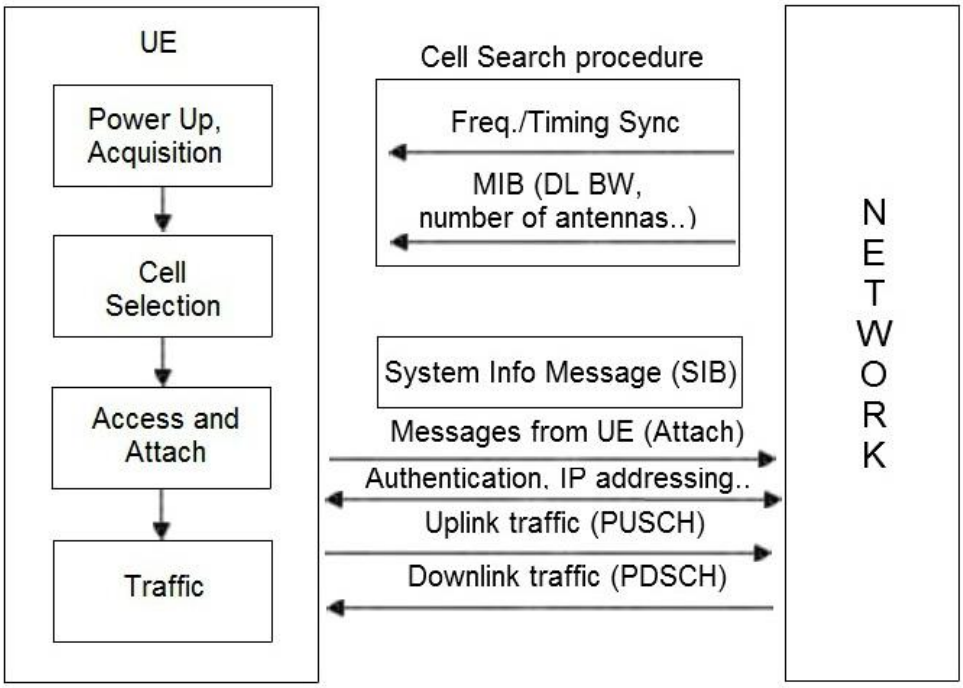
Přenos telefonního provozu je zvláště důležité v síti LTE. LTE je určen pro přenos paketů, proto neimplementuje služby telefonie s přepojováním okruhů. V současné době existuje několik možností použití telefonie v LTE. První možnost je přejít na technologii VoIP. VoIP je používán v systémy Skype a Googlenet, snížením přenosové rychlosti řeči s 64 do 13 kbit/s. Další možnost přenosu hlasu je přepnout účastníka během telefonního přenosu do GSM/UMTS sítě. V tomto případě je důležitým bodem kvalita handovera a podpora souběžných služeb provozu. Proces handoveru z LTE do UMTS bude projednán v jedné z kapitol.

5.1. Přihlášení uživatele do sítě

Při zapnutí mobilního terminálu uživatelem zařízení neví aktuální informace o buňkách, které jsou aktuálně kolem něj. Tím pádem terminál hledá buňku po celém pásmu a měří hodnoty pro každý signál. Když stanice ukončí výběr, v tuto dobu má dostatečné informace o signálech v okolí. Teď se terminál bude nacházet v stavu Idle do té doby, když neproběhne žádost o využívání služeb. Proces přihlášení uživatele do sítě je zobrazen na obrázku 11.

Popis připojení uživatele do sítě:

1. UE po jeho zapnutí začíná hledáním buňky a mobilní sítě;
2. Po zapnutí UE začíná proces výběru nosného kmitočtu a synchronizace času s buňkou;
3. UE dostává MIB (*Master Info Broadcast, Broadcastové systémové parametry*), které se skládá z šířky pásma downlink, počtu antén, SFN (*System Frame Number*). Tento brodcastový parametr opakuje každých 40 ms;
4. Když UE naváže spojení s buňkou, přejde do Idle stavu tzn. teminál provádí procesy sledované sítí;
5. UE vstoupí do režimu přístupu při žádosti o akci;
6. Když jsou přiděleny prostředky, nosič je ustanoven pro uplink a downlink provozy. [15]



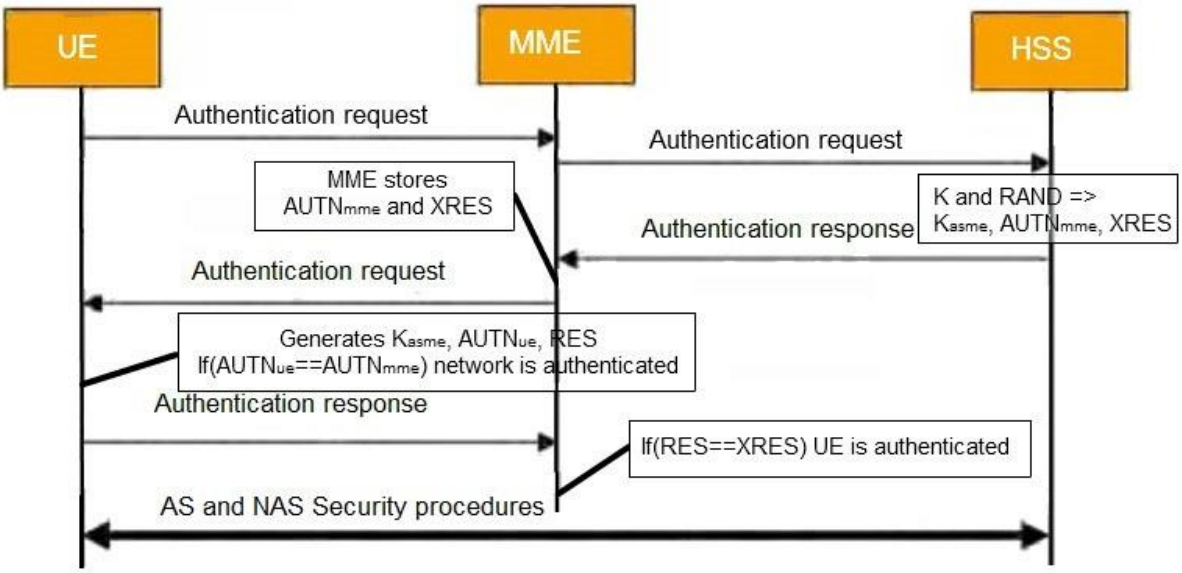
Obr. 11: Přihlášení uživatele do sítě. [15]

5.2. Registrace účastníka

Velmi důležitou částí všech systémů je registrace uživatele. Pro vygenerování klíčů platí stejné algoritmy jak u předchozí systémy UMTS. Proces registrace uživatele do sítí je zobrazen na obrázku 12.

Popis registrace účastníka:

1. Uživatel posílá zprávu o sestavení spojení MME;
2. MME pošle požadavek na registrace uživatele HSS. Tato zpráva obsahuje číslo IMSI;
3. AuC (*Authentication Center, Autentizační centrum*) mapuje IMSI v účastníkovi autorizační klíč (K), aby provedl asymetrické šifrování;
4. HSS vytvoří z K a RAND (*The random challenge, náhodně vygenerované číslo*) tři parametry XRES (*Expected Response*), K_{ASME} (*Šifrovací klíč*) a $AUTN_{MME}$ (*Authentication Token*). XRES a $AUTN_{MME}$ se používají pro vzájemné registrace;
5. Pak XRES a $AUTN_{MME}$ odesílá MME, kde se udržuje jejich kopii;
6. Po přijetí MME zašle účastníkovi čísla RAND a AUTN jak požadavek pro registrace;
7. Na základě AUTN v zařízení se ověří pravost sítě, jelikož jen sít' se znalostí správného tajného klíče může vygenerovat správný AUTN;
8. Pak na základě K, RAND, AUTN vypočítá odpověď' RES a odešle ji zpět do MME;
9. MME porovná XRES a RES a podle shody nebo neshody obou čísel povolí nebo nepovolí vstup do sítě. [15]

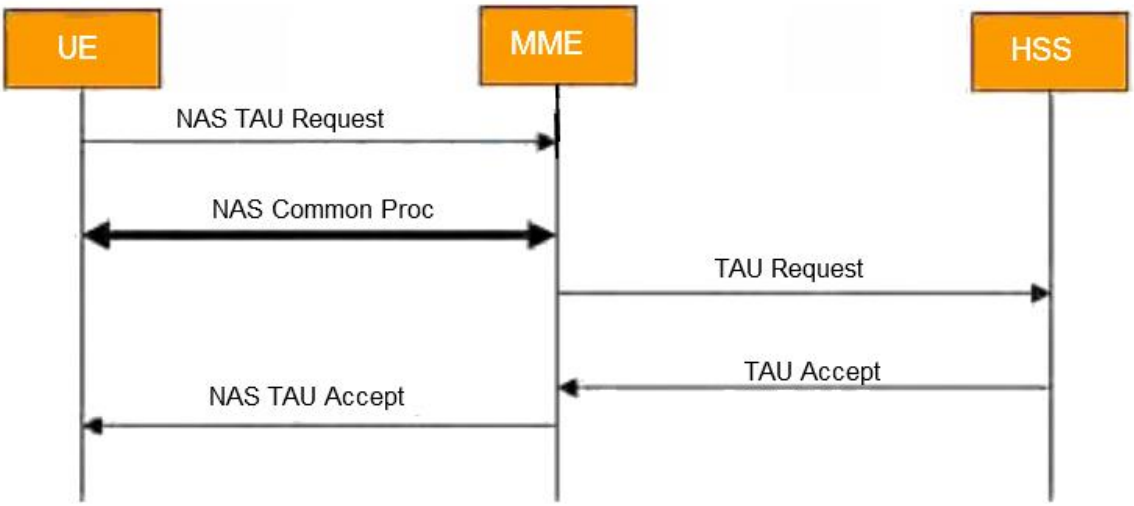


Obr. 12: Registrace uživatele. [15]

5.3. Tracking Area Update

Po úspěšném připojení k síti, UE se může pohybovat volně v současné sledování oblasti. Pokud zjistí jinou oblast sledování, je třeba aktualizovat síť z této nové sledovací oblasti. Během procesu aktualizace sledovací oblasti může MME zahájit postup ověřování a nastavení zabezpečení kontextu. [5]

Sledovací oblast a kroky se systémem s ověřováním a NAS postupy jsou uvedeny na obrázku 13.



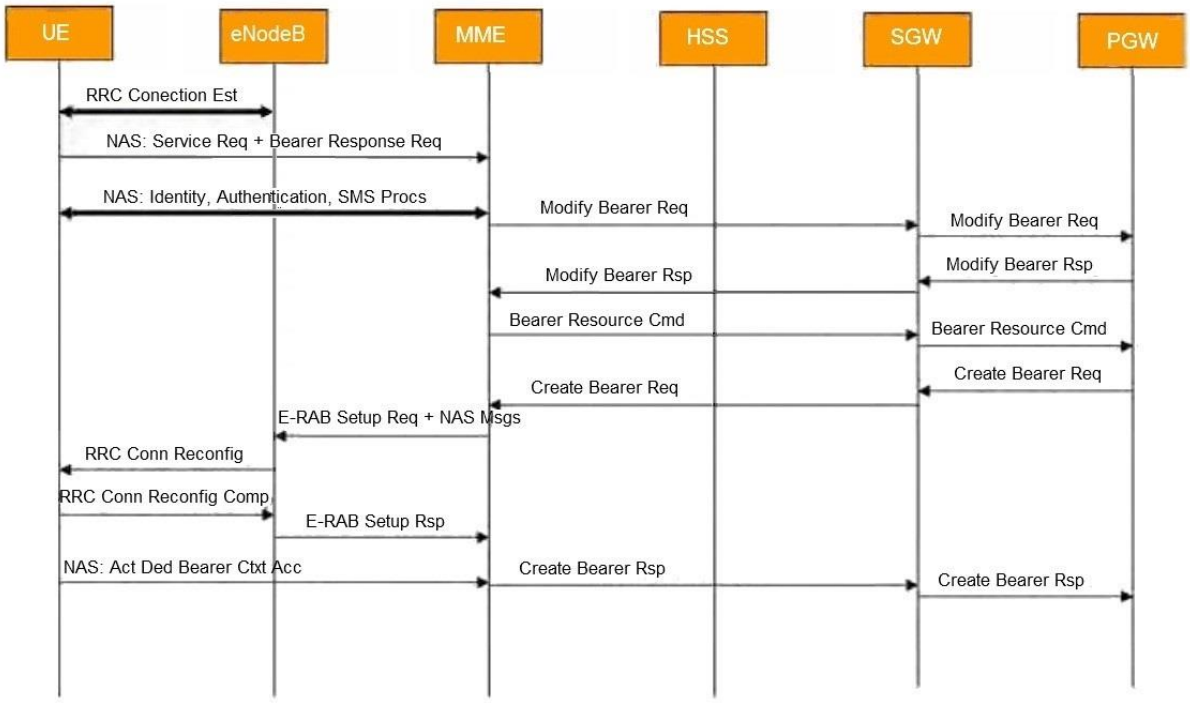
Obr. 13: TAU s ověřováním. [5]

5.4. Sestavení datového spoje

Po úspěšném připojení k síti může UE požadovat služby na NAS úrovni. Pro využívání všech služeb LTE mezi UE a P-GW je stanoven defaultní nosič a přidělena IP adresa pro UE. Proces sestavení datového spoje je na obrázku 14.

Popis sestavení datového spoje:

1. UE naváže RRC spojení s eNodeB.
2. UE odešle servisní požadavek na MME a požaduje nosič. Jako součást tohoto, eNodeB zavádí S1 logické spojení s MME pro UE. UE může také zaslat požadavek na přidělení nosiče do MME jako samostatnou zprávu v pozdějším časovém okamžiku.
3. V tomto bodě síť může iniciovat volitelné postupy k identifikaci, jako jsou například procesy ověřování a zabezpečení.
4. Po dokončení ověřování a kontrolních postupů režimu zabezpečení vytvoří MME GTP-C tunel a naváže nosič s S-GW.
5. S-GW aktivuje požadované prostředky a předá zprávu o úpravě nosiče směrem k P-GW.
6. P-GW zpracovává zprávu o úpravě nosiče a aktivuje požadované prostředky. IP adresa nebyla přidělena během připojení, takže se to nestane teď.
7. MME nyní iniciuje dedikovaný nosič.
8. S-GW zpracovává dotaz o iniciace nosiče a předá jej P-GW zdrojům.
9. P-GW odpoví na potvrzení iniciace nosiče směrem k S-GW po rozdělení přidělených prostředků.
10. S-GW vytvoří potvrzení o iniciace nosiče a předá do MME pro další zpracování.
11. MME nyní odešle žádost o aktivaci E-RAB (*evolved-Radio Acces Bearer, Vylepšený rádiový přístupový nosič*) k eNodeB. V této fázi pak odesílá NAS aktivace nosičů k UE.
12. eNodeB přiděluje prostředky pro Rádio nosič a zahrnuje přijaté NAS zprávy
13. UE stanoví Rádio nosič a v odpovědi to potvrdí na eNodeB
14. Rádio nosič je teď stanoven mezi eNodeB a UE, takže eNodeB potvrdí aktivaci E-RAB nosiče na MME.
15. UE vyšle NAS zprávu o aktivaci dedikovaného nosiče k MME přes eNodeB.
16. MME potvrdí aktivace na S-GW a pak na P-GW. [5]



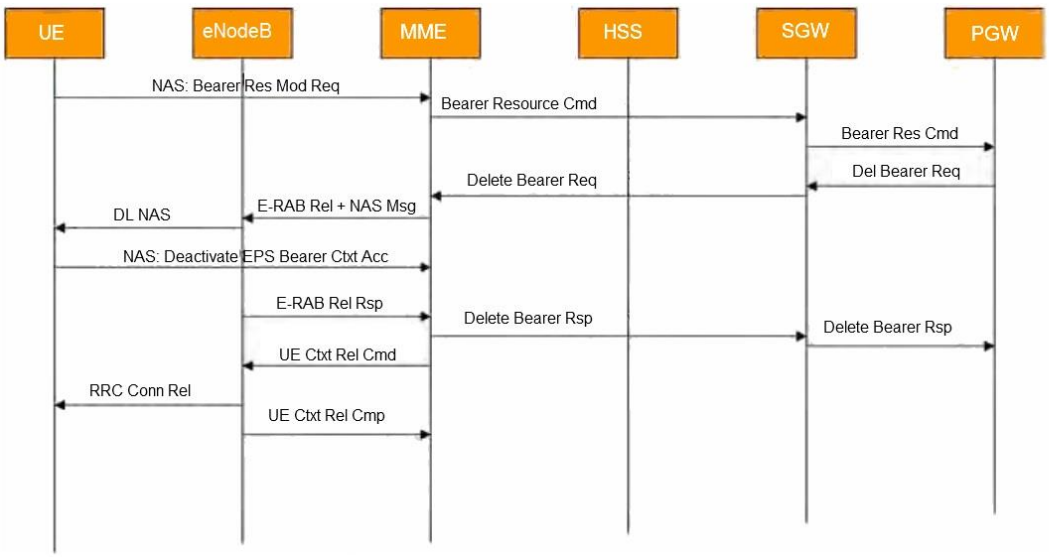
Obr. 14: Sestavení datového spoje. [5]

5.5. Ukončení datového spojení

Když UE dokončí datový hovor, může aktivovat uvolňování dedikovaného nosiče přes MME, které se pak může postarat o uvolnění dedikovaného nosiče s S-GW a P-GW. Proces ukončení datového spojení je na obrázku 15.

Popis ukončení datového spojení:

1. UE spouští uvolnění dedikovaného nosiče zasláním zprávy o uvolnění k MME.
2. MME iniciuje proces deaktivace nosiče.
3. Přes S-GW P-GW dozví o uvolnění nosiče
4. P-GW iniciuje osvobození nosiče a potvrdí to zprávou k S-GW. S-GW předává totéž k MME.
5. MME iniciuje osvobození E-RAB nosiče a vyčistí prostředky nosiče. To zahrnuje NAS zpráva: deaktivace EPS nosiče pro UE.
6. UE obdrží zprávu NAS z eNodeB, která uvolní prostředky nosiče a odešle potvrzení o deaktivace EPS nosiče k MME.
7. eNodeB nyní odešle zprávu o uvolnění E-RAB nosiče na MME.
8. MME zašle zprávu o zrušení prostředků nosiče k P-GW přes S-GW.
9. PGW vymaže požadované prostředky.
10. Pokud se jedná o rušení posledního dedikovaného nosiče pro tuto UE, musí MME uvolnit asociace s tímto UE zasláním zprávy o uvolnění S1AP UE.
11. eNodeB vymaže Rádio prostředky, které jsou přidělené na tento UE.
12. eNodeB potvrdí vymazání na MME. [5]



Obr. 15: Ukončení datového spojení [5]

5.6. Odpojení od sítě

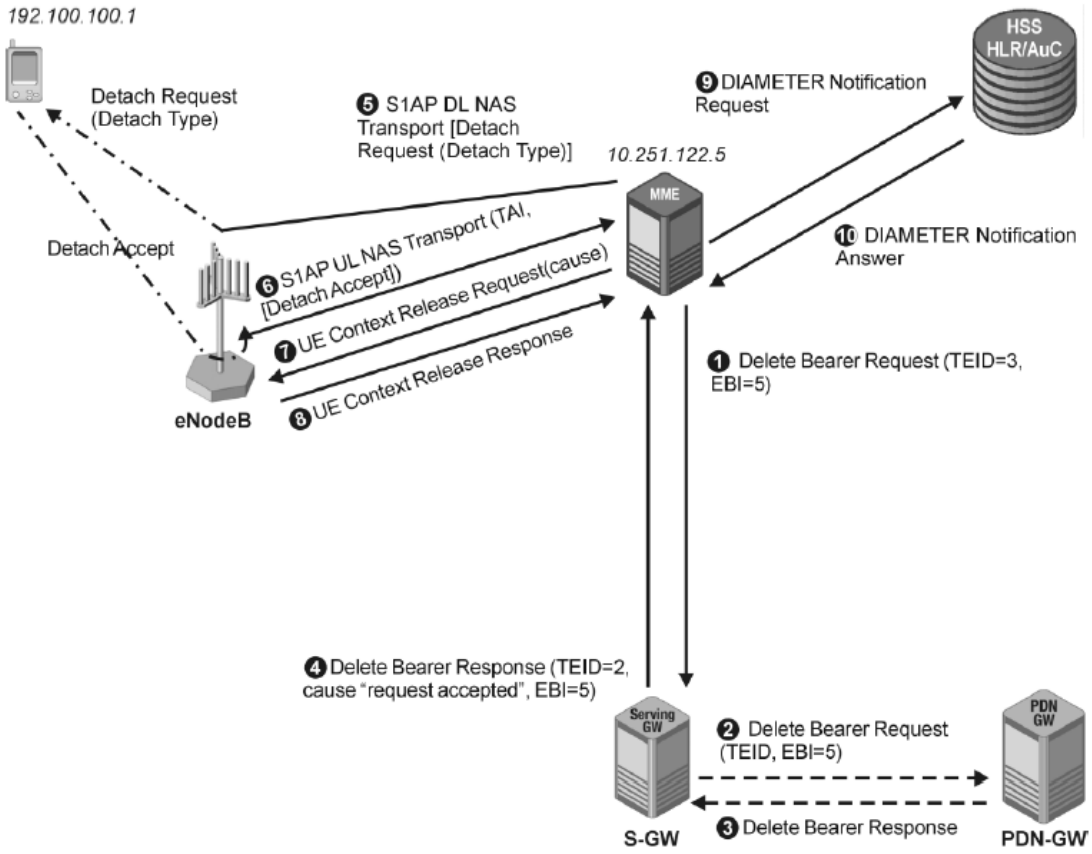
Mobilní sítě, stejně jako jiné sítě, nejsou stoprocentně odolné vůči ztrátě připojení uživatelů. V situacích, kdy je účastník nedostupný z důvodu ztráty signálu nebo vypnutého telefonu, síť může považovat uživatele za nedostupného. Odpojení od sítě může požadovat buď samotná síť, nebo o odpojení žádá sama mobilní stanice. V prvním případě, pokud systém požaduje od mobilní stanice pravidelné aktualizace poloh a po nějaký stanovený interval nedostane systém zprávu o aktuální poloze uživatelského zařízení, bere takovou mobilní stanici jako neaktivní a odpojí ji. Systém si poznačí tohoto účastníka jako neaktivního, popřípadě smaže jeho dočasnou lokaci. Při inicializaci odpojení směrem od uživatelského zařízení odesílá stanice zprávu o odpojení IMSI/DETACH. Na tuto zprávu nemusí přijít odpověď od systému, jelikož stanice už nemusí být schopna tuto zprávu přijmout. [7]

Na obrázku 16 je naznačen princip odpojení v systému LTE, inicializován směrem k uživatelskému zařízení, kde se nejdříve vyšle požadavek pro uvolnění a smazání spojení inicializovaných od neaktivního účastníka.

Popis odpojení od sítě:

1. MME pošle žádost na odstranění nosiče na S-GW.
2. S-GW začne proces mazání nosiče na S5 rozhraní a pošle stejnou signalizační zprávu k P-GW.
3. P-GW uvolní prostředky nosiče a potvrdí uvolnění na S-GW.
4. S-GW přepošle tu zprávu do MME.
5. NAS zpráva se odesílá z MME do UE.
6. UE odpoví na požadavek o deaktivaci NAS, pokud UE ještě může reagovat na signalizační zprávy.
7. MME spustí postup osvobození UE kontextu odesláním S1AP zprávy k eNodeB.
8. eNodeB potvrzuje uvolnění kontextu UE.

9. MME informuje HSS o odpojení UE pomocí protokolu Diameter.
10. HSS označuje informace o uživateli a potvrdí přijetí na MME. [15]



Obr. 16: Odpojení v síti LTE. Převzato z [7]

5.7. Handover

Handover je automatické proces předání spojení od jedné buňky do jine buňce, který probíhá, když UE mění svou polohu. V rámci LTE předání jde mezi eNodeB a UE zůstává přihlášeno do stejné MME a S-GW. Pro rozhodnutí o handoveru se měří přenosová kvalita spojení a změna se provede, když to zaručí zlepšení kvality. Výsledek měření je předán přes RRC protokol. Po předání měření algoritmus handoveru ověří, zda by mělo dojít k předání UE jinému eNodeB.

Hlavními důvody handoveru jsou:

- Sousední základní stanice může poskytovat nejlepší kvalitu spojení pro uživatele, než stanice, která slouží v daném čase;
- Nedostatečná úroveň užitečného signálu;
- Nedostatek základnových stanic;
- Špatné nastavení provozních režimu rádio sítí.

Handover se rozděluje na Hard Handover a Soft Handover. Hard Handover („break before make“) je takový, ve kterém je kanál ve zdrojové buňce uvolní a potom kanál v cílové buňce je v záběru. Hard handover je relativně levnější a snadněji proveditelné ve srovnání s jinými typy. Soft Handover („make before break“) je takový, ve kterém je kanál ve zdrojové buňce uchovává a

používá se na chvíli paralelně s kanálem v cílové buňce. V nabídkách spolehlivější připojení k síti a menší šance na ukončení volání v průběhu přepínání základnových stanic ve srovnání s pevný. Technická realizace Soft Handover je dražší a složitější v porovnání k Hard Handover.

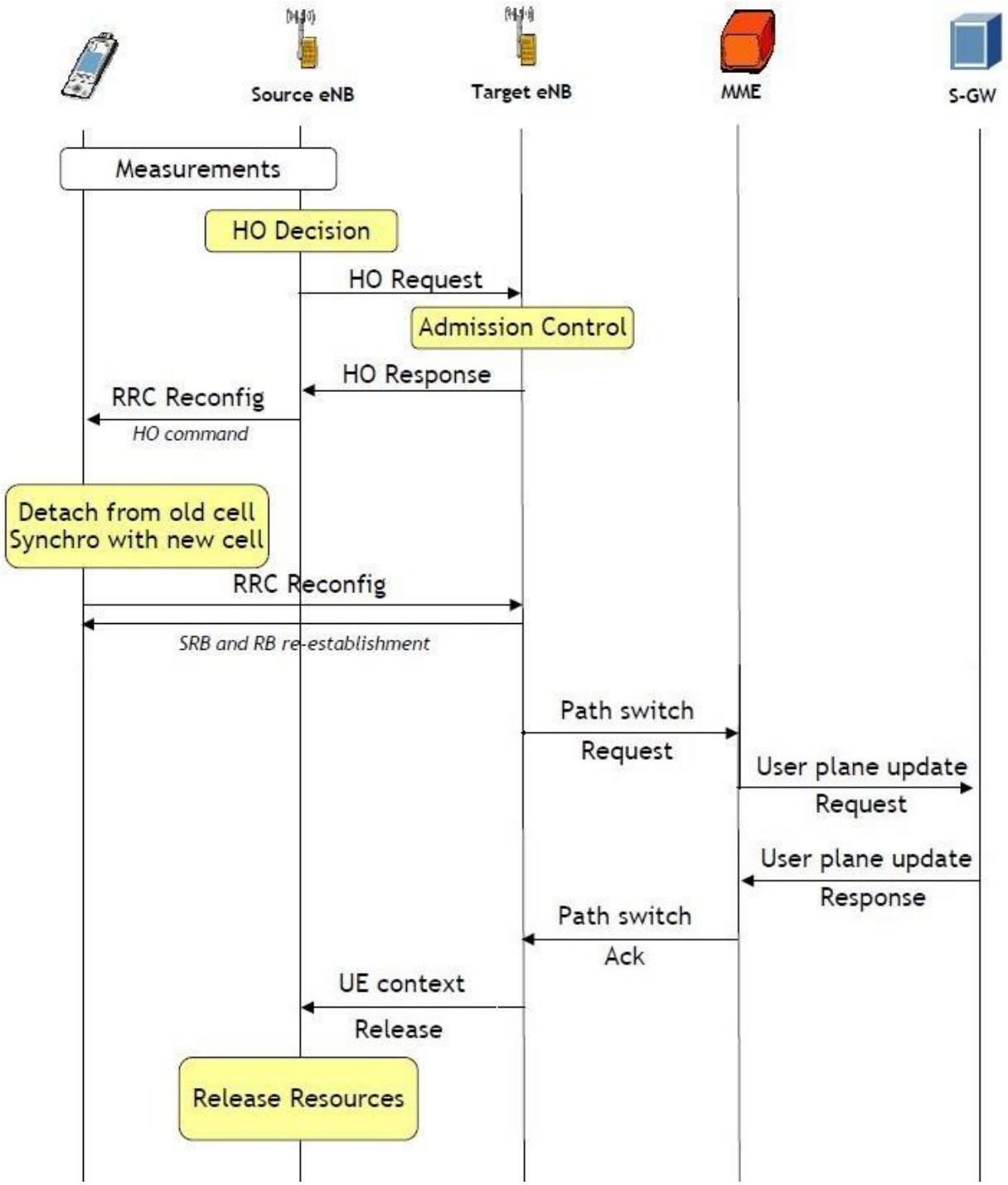
Systém LTE má inteligentnější základovou stanici eNodeB, která dokáže o handoveru rozhodovat sama. V rámci EPC síti nejdůležitější jsou X2 handover, S1 handover a handover do jiné technologie (Inter-RAT handover). Tyto tři procesy budou projednány v dalších podkapitolách.

5.7.1. X2 Handover

Když jsou dvě základové stanice eNodeB přímo propojeny rozhraním X2 a jsou řízeny stejnou jednotkou MME, jedná se o X2 Handover. UE poskytují měřicí zprávy, ale eNodeB je zodpovědný za Handover rozhodnutí a exekuce. Tento proces je zobrazen na obrázku 17.

Popis X2 handover:

1. Pokud jsou splněna kritéria, eNodeB odesílá Handover požadavky na cílové eNodeB.
2. Cílové eNodeB vyhodnotí zdroje a odpoví ACK (*Acknowledgement, Potvrzení*).
3. ACK obsahuje všechny údaje, UE bude muset komunikovat s cílovou eNodeB.
4. UE opustí zdrojový ENODEB; zdrojový eNodeB ušetří všechna příchozí data pro UE a odesílá je do cílové eNodeB přes X2.
5. Cílový eNodeB posílá "Path Switch Request" k MME, žádající S1u o rekonfiguraci nosičů.
6. MME kontaktuje S-GW, aby přesměrovalo data na cílové eNodeB.
7. Zdrojový eNodeB se uvolní po ukončení. [6]



Obr. 17: LTE X2 Handover. Převzato z [6]

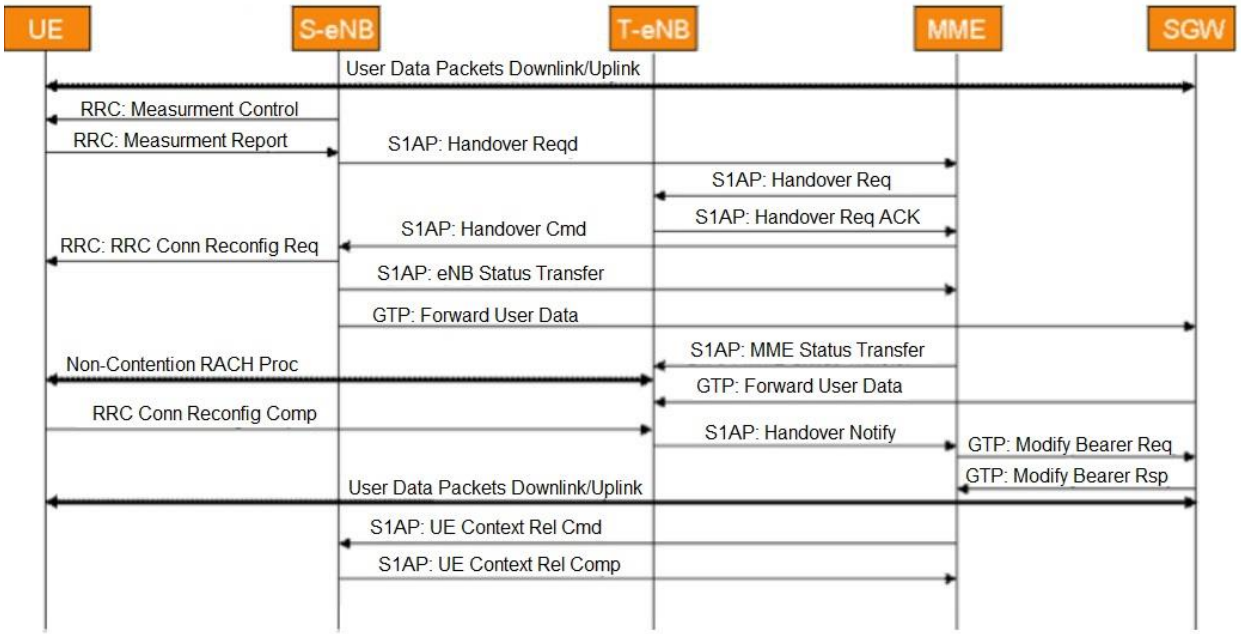
5.7.2. S1 Handover

S1 Handover se používá, pokud nejsou dvě základnové stanice eNodeB spojeny přes rozhraní X2, a účastník přechází do buňky jiné eNodeB. S1 Handover se liší od X2 Handoveru tím, že požadavek na handover je posílán jednotce MME, která předá požadavek na handover cílové eNodeB. Popis S1 handover:

1. Zdrojový eNodeB posílá „Handover required“ k MME.

2. Zdrojový eNodeB musí najít cílový MME a zahájit postup přemístění. Cílový MME je odpovědný za přípravu cílového eNodeB.
3. Cílový MME také vytvoří S1u nosič.
4. Mohou být stanoveny tunely mezi S-GW, aby nedošlo ke ztrátě paketů. X2 připojení se používá, pokud je k dispozici.

Existují situace, když dojde k S1 handoveru a potřebuje změnit spolu se zdrojovým eNodeB ještě MME a občas S-GW. Když účastník přesune z jedné MME zóny do druhé, se jedna o inter-MME handoveru. Tady každá z MME ovládá svoje eNodeB, ale mají stejnou služební výchozí bránu, která je zodpovědná za iniciace handoveru. [9]



Obr. 18: LTE S1 Handover. [8]

5.7.3. Handover z LTE do UMTS

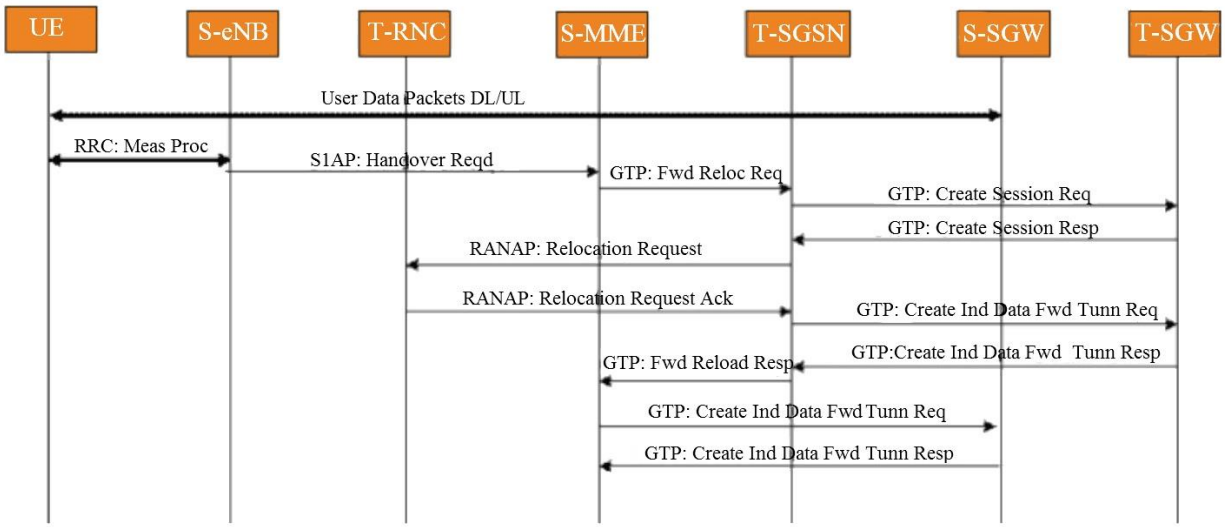
Vývoj a vznik různých bezdrátových systému s různými charakteristikami vyžaduje integraci do jediné platformy, která je schopna udržovat transparentní a bezproblémový roaming pro uživatele pomocí handoveru bez přerušení aktuální relaci. Tato kapitola popisuje proces handoveru z LTE v nejpoužívanější mobilní technologie dnešní doby UMTS.

Zdrojový eNodeB je připojen k zdrojové MME a SGW a zároveň cílový RNC je připojen z cílovým SGSN a SGW. Oba dva SGW májí spojení ze stejným PGW. Pro jasnost tato procedura je rozdělena na dvě části: příprava a provedení. V přípravné fázi, prostředky jsou vyhrazeny do cílové síti. Ve fázi provedení, UE je předán cílové síti ze zdrojové síti. [8]

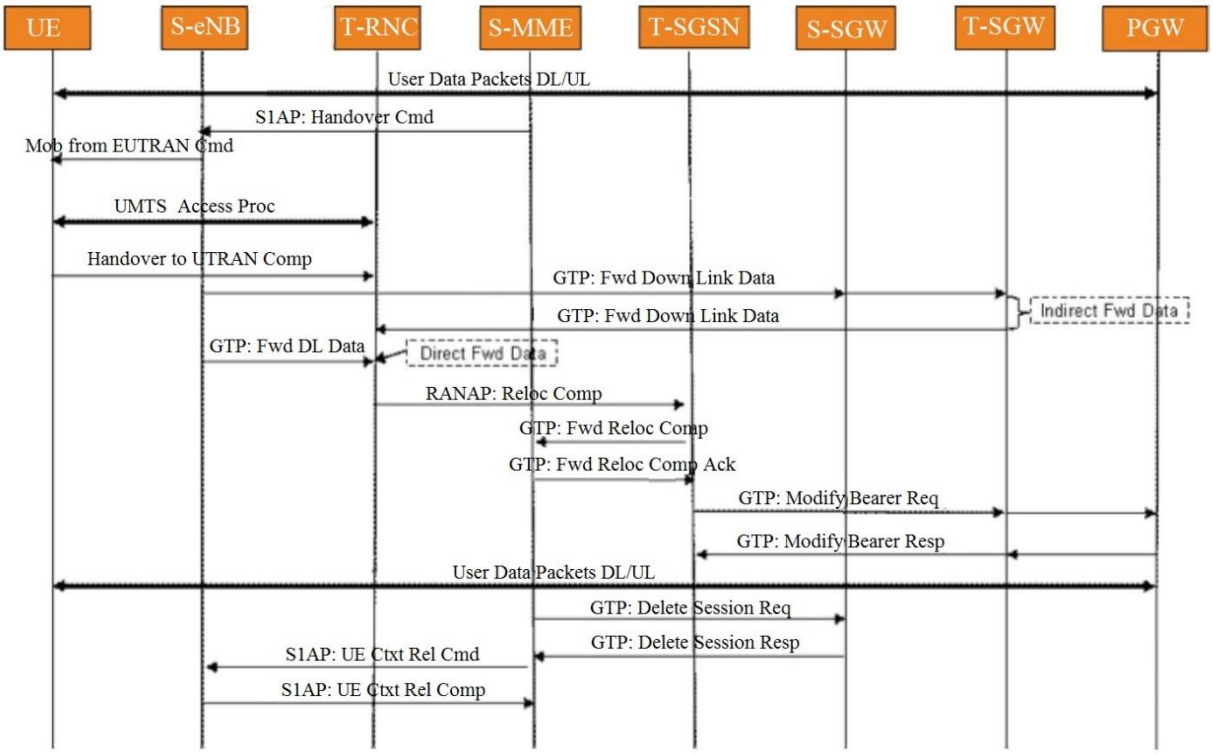
Příprava handoveru se provádí před změnou systémů, včetně úkoly, jako je zajištění prostředků na cílové radiové přístupové sítě. Pak, když dojde k skutečnému přepínaní, pouze síťová cesta musí být přepnuta, což snižuje dobu zpracování handoveru. Rovněž, ztráty datových paketů, které přicházejí před přepínače během handoveru je možné se vyhnout použitím funkce předávání dat. Díky tomu, prostřednictvím interakce mezi LTE a UMTS rychlé předání bez ztráty paketů je možný.[8]

Popis Handoveru z LTE do UMTS:

1. Jakmile tento handover je rozhodnut zdrojový eNodeB připravuje a odešle zprávu o iniciace handoveru na zdrojový MME.
2. MME získá cílový SGSN, připraví a pošle GTP-C pro něj. Cílový SGSN detekuju změnu SGW a založí nosič.
3. Cílový SGSN rezervuje zdroje na cílovém RNC, který pak rezervuje rádiové zdroje.
4. Cílový SGSN vytváří tunel, který nepřímé přesměruje údaje ze zdrojového SGW do cílového SGW. Zdrojový MME založí stejný tunel do zdrojového SGW. Díky tomu přípravná fáze je dokončena a zobrazena na obrázku 19.
5. Zdrojové MME a eNodeB připraví UE pro handover směrem k cílové.
6. Po obdržení přístupu do UMTS buňky, UE odešle potvrzení o schválení Handoveru k RNC.
7. Zdrojový eNodeB přeposílá datové pakety směrem k cílové SGW přes zdrojový SGW. Tento krok se může stát kdykoliv po přijetí „S1 Handover Command“ zprávy od MME. Tento krok se provádí v případě, že přímé předávání trasa není k dispozici s RNC. V opačném případě pakety bude přímo. přesměrované do cílové RNC. Obě možnosti jsou uvedeny na obrázku 20.
8. Jakmile RNC detekuje UE ve své oblasti, RNC informuje cílový SGSN o handoveru, který pak naváže spojení s zdrojovým MME.
9. Cílový SGSN modifikuje E-Rab nosič k cílovému SGW, která pak hlásí parametry nosiče na PGW.[8]



Obr. 19: Přípravné fáze Handover z LTE do UMTS. [8]



Obr. 20: Provedení Handoveru z LTE do UMTS. [8]

5.8. Procedury související s IMS subsystémem

Připojení do internetu a použití VoIP jsou dvě řídicí procedury, které potřebují pro svoje fungování použít IMS subsystém, stejně jako VoLTE. IMS je globální systém, který poskytuje přístupové nezávislé služby. Tyto služby jsou založené na připojení přes IP. IMS dovoluje různé druhy multimediálních služeb uživatelem z jakéhokoliv terminálu, který je vhodný pro tyto účely.

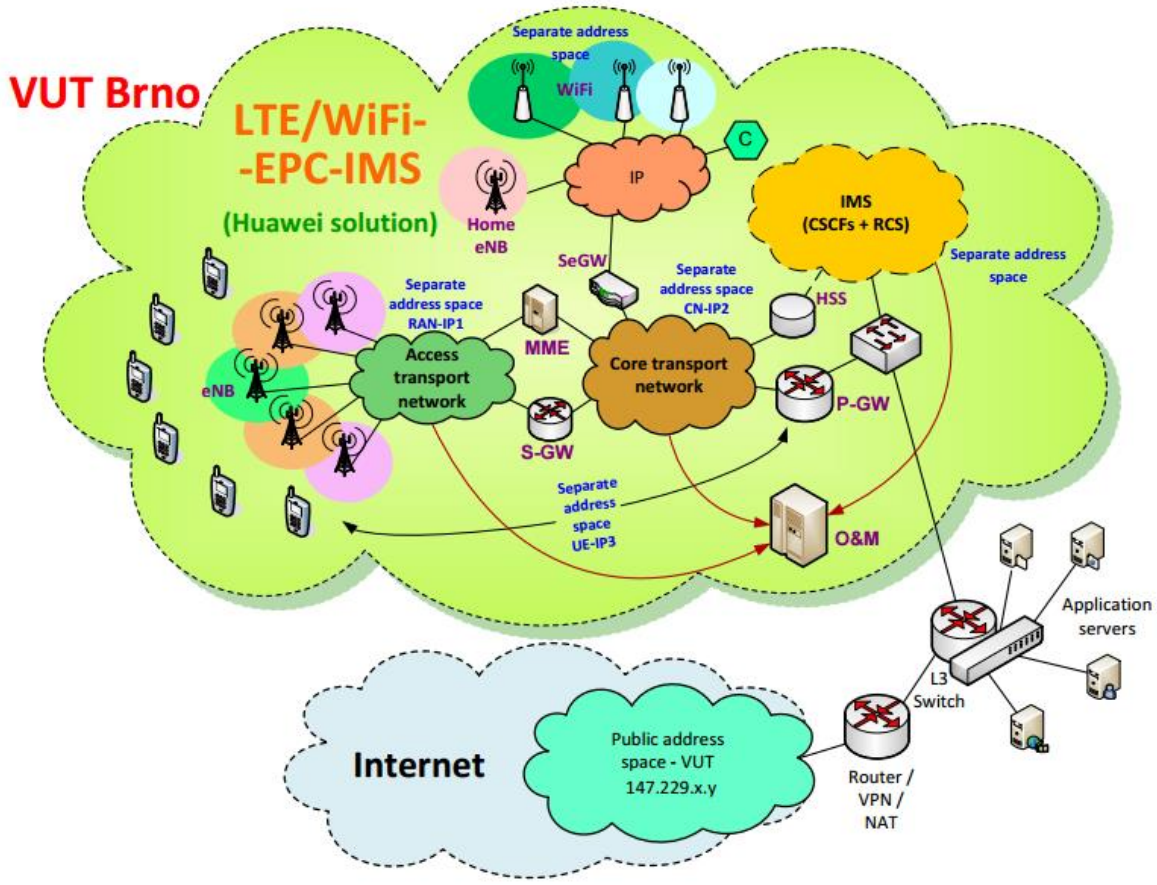
Je třeba poznamenat, že Internet přes digitální VoIP brány je spojen s digitálními telefonními síti. Kromě toho, integrace VoIP do celulární sítě je téměř nevyhnutelným procesem, integrace poskytuje nižší cenu hovorů ve srovnání s tradiční celulární telefonie. Hlasový signál z kanálu VoIP může přímo přijít na IP telefon, který je připojen k IP sítě, nebo může být směrován na mobilní telefon, anebo na analogový telefon, který je připojen k PSTN (*Public Switched Telephone Network, Veřejná telefonní síť*) telefonní sítě, anebo na digitální telefon, je připojen k digitální sítě s integrací služeb ISDN (*Integrated Services Digital Network, Digitální Síť Integrovaných Služeb*). To znamená, IP telefonie přenáší hlasové signály z počítače do počítače, z počítače do telefonu a z telefonu do telefonu.

Tato semestrální práce se zaměřena jenom na procedury v EPC síti. Pro více informací mohou čtenáři použít následující knihy [16] [17] [18].

6. Praktická část

Poslední etapou této práce je vytvoření laboratorní úlohy pro předmět Komunikační prostředky mobilních sítí. K provedení laboratorní práce bude použita mobilní experimentální síť LTE na FEKT VUT Brno. Před vytvořením úlohy je třeba analyzovat stávající experimentální síť. Daná kapitola seznamuje čtenáře se síti LTE na VUT, ukazuje výsledky analýzy rádiového rozhraní a řídicích procedur EPC síti. Na konci kapitoly z těchto výsledků bude navržen návod k laboratorní úloze pro předmět MKPM.

6.1. Seznámení se experimentální sítě



Obr. 21: Celkové řešení experimentální sítě LTE. Převzato z [23]

Obrázek 21 zobrazuje celkové řešení experimentální sítě LTE na VUT Brno. Tento systém simuluje standardní síť LTE, tzn., že se skládá z přístupové sítě, paketového jádra sítě a subsystému IMS, který zabezpečuje multimediální a telekomunikační služby. Tato síť je postavena na následujících zařízeních Huawei:

- Prvkem eNodeB je zařízení DBS 3900. Toto zařízení se skládá z částí BBU 3900 (*Base Band Unit 3900*), která umožňuje modulaci v základním pásmu, a RRU (*Remote Radio Unit*), která se stará o modulaci signálu.

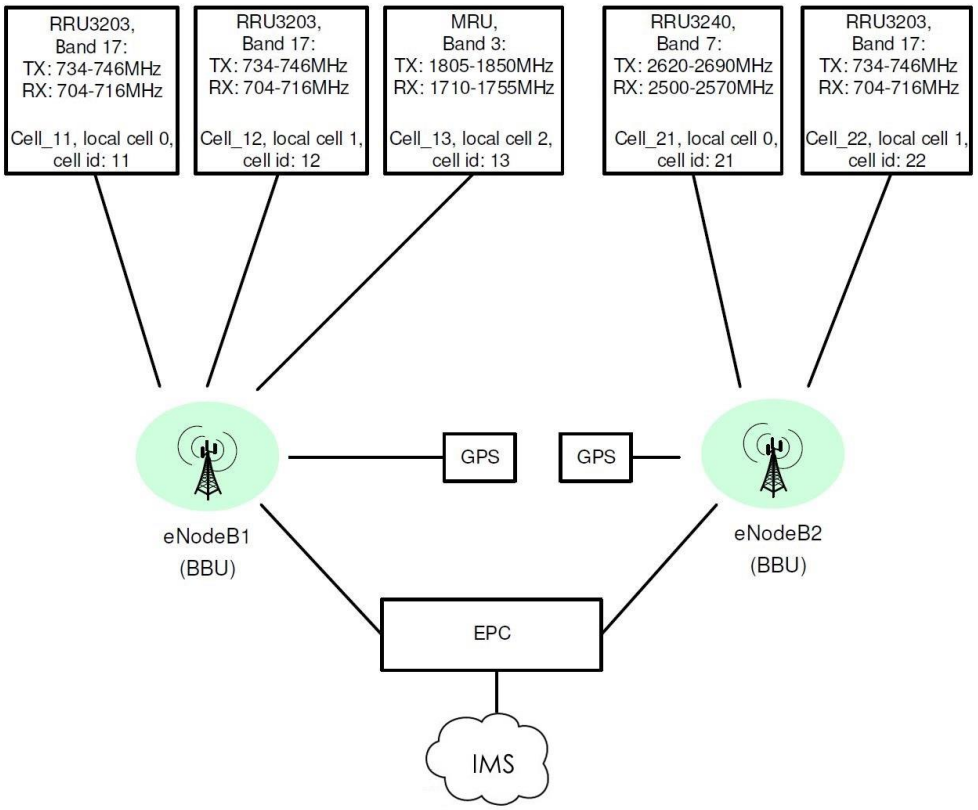
- MME je zastoupen systémem Huawei eCNS. Na starosti má autentifikace uživatelů a přístup mobilních zařízené k E-UTRAN.
- Prvky obslužné brány a paketové brány jsou integrovány v jednom zařízení UGW 9811 *(Unified Gateway)*. Kombinované zařízení UGW realizuje funkce zprávy relací, přístup k paletově přepínané datové sítí Internet, přístup k virtuálním privátním sítím prostřednictvím VPN, směrování a účtování. [23]

VoLTE je technologie pro řešení základních hlasových služeb po IP přes mobilní síť EPS s využitím subsystému IMS. Pro její využití fungují koncová zařízení jako IMS klienty, a jádro sítě a rádiová přístupová síť zabezpečují kvalitu služeb pro hladký a spolehlivý přenos hlasu, včetně podpory nouzových volání.

Pro možnost reálného experimentálního provozu mobilní sítě EPS se používají tři pásma v pěti buňkách ve kmitočtových pásmech 700 MHz (pásmo 17), 1800 MHz (pásmo 3) a 2600 MHz (pásmo 7). Pásmo 17 je označované jako "Lower SMH (Southern Media Holdings) blocks B/C" a je určeno pro komunikaci typu FDD. Dané pásmo zahrnuje rozsahy kmitočtů od 704 MHz do 716 MHz pro uplink a od 734 MHz do 746 MHz pro downlink. Pásmo 3 je označované jako "DCS" – zahrnuje rozsahy kmitočtů od 1710 MHz do 1785 MHz pro uplink a od 1805 MHz do 1880 MHz pro downlink. Pásmo 7 je označované jako "IMT-E" a zahrnuje rozsahy kmitočtů od 2500 MHz do 2570 MHz pro uplink a od 2620 MHz do 2690 MHz pro downlink. [23]

Přístupová síť je zastoupena dvěma základnovými stanicemi eNodeB. Základnová stanice eNodeB1 tvoří tři buňky, dvě pracují v pásmu 700 MHz a jedna v pásmu 1800 MHz. Základnová stanice eNodeB2 tvoří dvě buňky, kde jedna pracuje v pásmu 700 MHz a druhá v pásmu 2600 MHz. V současné době buňka 1800 MHz není v provozu. Buňky základnové stanice eNodeB1 v pásmech 700 MHz pokrývají budovu D a E T12, a obě buňky eNodeB2 pokrývají budovu C T12.

Základnové stanice jsou tvořeny dvěma oddělenými částmi, které jsou nazývané Base Band Unit a Remote Radio Unit. BBU jsou připojeny k GPS přijímačům pro časovou synchronizaci a přesné nastaveni přenosové frekvence. Blokové schéma zapojení eNodeB je zobrazeno na obrázku 22.



Obr. 22: Schéma zapojení a parametry přístupové sítě. Převzato z [23]

6.2. Analýza rádiového rozhraní

Pro analýzu rádiového rozhraní se používá nástroj Rohde Schwarz ROMES4 a spektrální analyzátor rádiové sítě. R&S (*Rohde & Schwarz*) TSMW analyzátor rádiové síti poskytuje možnosti pro analýzu a optimalizaci sítě. Tento analyzátor umožňuje skenování WCDMA, skenování sítě GSM, CDMA a LTE sítě.

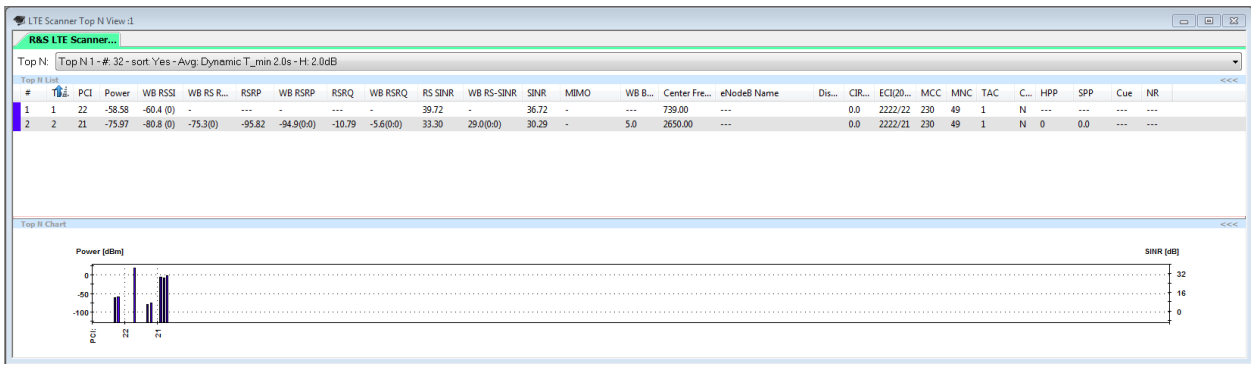
Pro kontrolu pokrytí sítě v aplikaci R&S ROMES4 byly používány R&S LTE skener a RF skener výkonu TSMW spektra. Obojí skenery jsou naladěny na kmitočtové pásmo 17 a na pásmo 7 Následující obrázky 23 a 24 ukazují kmitočtové charakteristiku a spektrální charakteristiku.

Obr. 23: Kmitočtová a spektrální charakteristika pro pásmo 17

Obr. 24: Kmitočtová a spektrální charakteristika pro pásmo 7

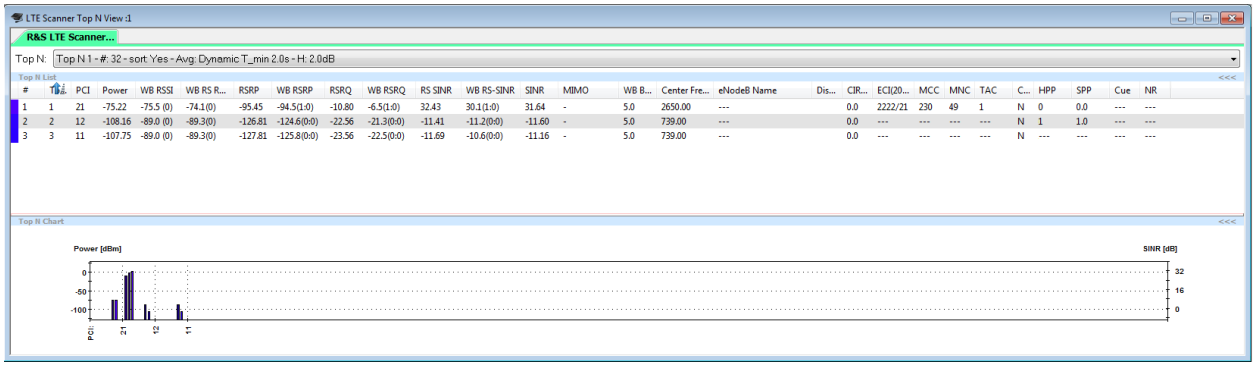
Měření byla provedena v místnosti T12/SC5.32, FEKT. Tato místnost je pokryta dvěma buňkami, které se nachází v jedné eNodeB. Jako výsledek studií byly zjištěny požadované kmitočty. V procesu sledování byl nalezen jeden problém s kmitočtovým pásmem 17 v dané eNodeB. Tato buňka pracuje s poruchami, tzn. v určité lhůtě funguje správně, a pak během neurčité doby provozu přestává fungovat. Bohužel se nepodařilo nalézt důvod pro tento jev, a proto existují problémy s tímto pásmem v eNodeB, zejména s analyzováním handoveru přes rozhraní X2. Na začátku května tato buňka začala fungovat bez poruch.

Kromě toho byly nalezeny identifikační hodnoty MCC, MNC a PCI, kde poslední je identifikátor buňky. Tyto hodnoty je možné vidět na obrázku 25.



Obr. 25: Identifikátory buněk v eNodeB2

Jak je uvedeno výše, eNodeB2 v pásmu 700 MHz někdy nefunguje správně. V době, když naše buňka nefunguje, skener pokračuje ve skenování, což vede ke zjištění slabého signálu v tomto kmitočtovém pásmu. V takovém případě zařízení vidí buňky z eNodeB1, které jsou umístěny až v jiné budově v kopmlexu T12.



Obr. 26: Identifikátory buněk v případě poruchy jedné buňky v eNodeB2

6.3. Analýza řídicích procedur EPC

V předchozí podkapitole byla provedena analýza rádiového rozhrání experimentální sítě. To bylo děláno s úmyslem, abychom se ujistili o správném fungování radiové součásti experimentální sítě. Jak je již známo, buňka v pásmu 1800 MHz momentálně není v provozu, jedna buňka v pásmu 700 MHz nefunguje správně a tři buňky jsou v provozním stavu.

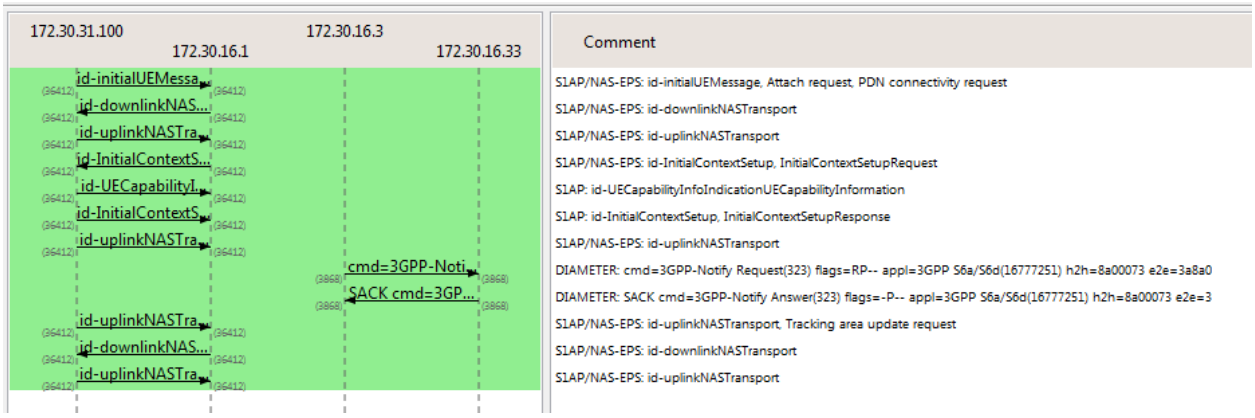
Pro analýzu řídicích procedur síti EPC byly poskytnuty dva mobilní telefony Samsung Galaxy S4, které jsou účastnickými zařízeními pro komunikaci s EPC sítí. Oba modely jsou naprosto identické (nepočítaje barvu) a podporují LTE síť, ale jen v pásmu 700 MHz. Na tomto základě nebude buňka v pásmu 2600 MHz dále považována a analyzována. Každé mobilní zařízení je vybaveno SIM kartou pro experimentální síť.

Pro zobrazení signalizace mezi jednotlivými bloky v síti je třeba připojit počítač do zrcadleného portu (mirroring port). Tento port se nachází v serverovně, kde je rovněž umístěné hlavní jádro EPC sítě. Pro pohodlí pozdějšího použití při provádění laboratorní práce doporučuji založit kopie zrcadleného portu a prodloužit kabel z portu až do místnosti SC5.32, kde bude konec kabelu připojen k počítači. Po připojení k portu je možné zapnout WireShark, který bude působit

jako analyzátor. Do režimu sledování je možné jít výběrem rozhraní Ethernet. V této chvíli je přípravná fáze zcela dokončena.

První řídicí procedura, která by měla být prováděna, je připojení mobilního zařízení k experimentální síti. Pro tento úkol je nutné aktivovat režim sledování v WireShark a zapnout jeden z telefonů. Po zapnutí mobilní zařízení začíná hledat síť, vybere nejlepší signál a připojí se k příslušné buňce/eNodeB. Během tohoto procesu si jednotlivé bloky, jako jsou eNodeB, MME a HSS, vyměňují zprávy pro připojení k síti. Tento proces je znázorněn na obrázku 27.

Initial UE Message je první zpráva, která je odeslána do MME pro navázání spojení. Tato zpráva obsahuje *Attach Request* a *PDN Connectivity Request* a se skládá ze specifické informace, jako je PLMN, IMSI, sledovací oblast a také informace o požadovaných službách. MME odpoví UE na požadavek ověření odesíláním nešifrované zprávy *Downlink NAS Transport,* která obsahuje RAND a AUTN čísla a klíč asymetrického šifrování. Zprávou *Uplink NAS Transport* UE odešle RES hodnotu do MME. Účelem *Initial Context Setup* zpráv je zavést celkový počáteční UE kontext včetně e-Rab kontextu, klíč a zabezpečení atd. eNodeB ovládání logickým spojením S1 zahájí řízení zasláním *UE Capability Info Indication* zpráv do MME. Tuto zprávu obdrží MME a nahrazuje dříve uložený UE informace o UE schopnosti v MME pro uživatele. MME a HSS na rozhraní S6a pomocí protokolu Diameter aktualizuje UE. IMSI je zde používán jako uživatelské jméno. HSS přistupuje k databázi a odešle informace o uživateli do MME. MME nyní zahájí řízení zabezpečení NAS. Algoritmy pro ochranu šifrování a integritu jsou zahrnuty ve zprávě *Downlink NAS Transport.* UE odpoví zpět do MME zprávou *Uplink NAS Transport* s NAS šifrováním a ochranou integrity.



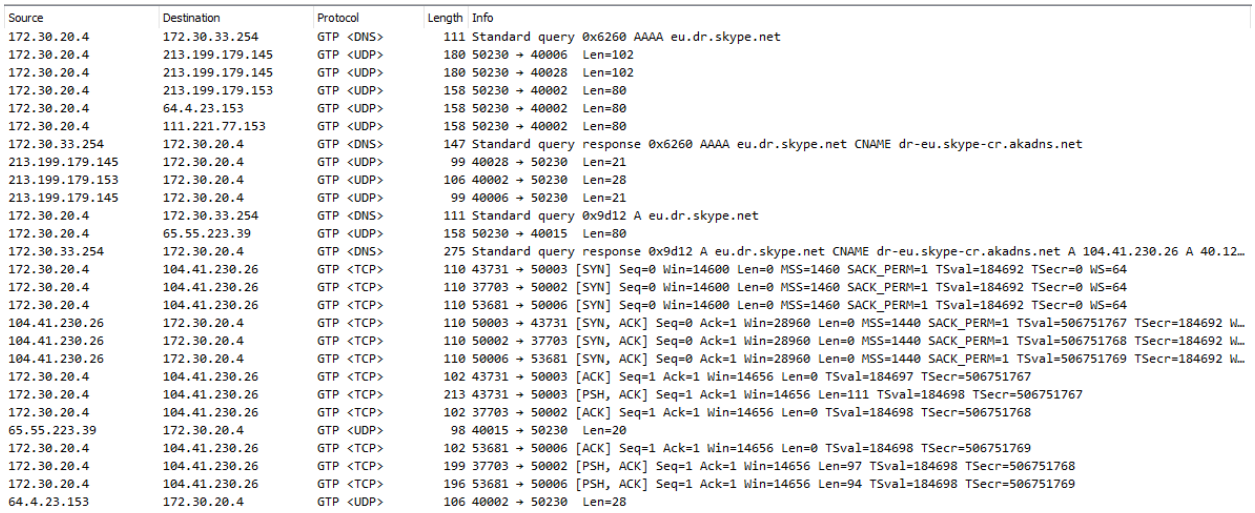
Obr. 27: Připojení k experimentální sítě

Během provádění prvního experimentu se podařilo na krátkou dobu připojit k eNodeB2, ale vzhledem k jeho nestabilitě došlo k mimořádné situaci, následkem čehož byl proces nouzového handoveru základnových stanic. Zpráva *Radio Link Failure Indication* oznamuje, že v síti selhání rádiového spojení. Tato zpráva zahrnuje měření referenčního výkonu a kvality přijímaného signálu ze zdrojové buňky a také volitelné výsledky měření ze sousedních buněk. V tomto případě je nutný handover. Což lze vidět na obrázku 28.

Obr. 28: Nouzový handover na etapu připojení k experimentální sítě

Nejvýznamnější řídicí procedurou je sestavení datového spoje mezi uživateli. Bohužel v experimentální síti existují problémy v nepřítomnosti možnosti uskutečňovat hovory, tj. hlasová služba přes LTE síť nefungovala. Jediná možnost, která existuje pro splnění daného úkolu, je používat VoIP služby. Jako aplikace pro přenos hlasu přes IP je používán všemi známý program Skype. Pro toto byly vytvořeny dva uživatelské účty na Skype s přihlašovacími jmény *user.utko1* a *user.utko2* a hesly *userUTKO1* a *userUTKO2*. Dvě gmail adresy také byly vytvořeny s přihlašovacími údaji user.utko1@gmail.com – *userUTKO1* a user.utko2@gmail.com – *userUTKO2*. Po vytvoření může uživatel aplikace přejít k procesu monitorování. Při uskutečnění hovoru přes Skype lze vidět obrovské množství GTP zpráv, které se používají na aplikační vrstvě a UDP bloku, které jsou přenášeny na transportní vrstvy. Je také možné vidět zprávy, které chodí mezi blokaci eNodeB, MME a SGW. Zjednodušená verze tohoto procesu je na obrázku 29. Na začátku je zobrazen blok zpráv GTP <DNS>, který je zodpovědný za proces překladu doménových jmen na IP adresu. Mobilní zařízení odesílá požadavek k výchozí bráně a pak obdrží odpověď s požadovanou adresou. V tomto okamžiku dojde k TCP spojení a spojení se připojí. TCP se používá k vytvoření počátečního připojení. Po navázání spojení začne proces přenosu hlasu. Hlas bude přenášen v UDP paletách za účelem minimálního zpoždění v komunikaci. Přenos dat je doprovázena řídicím protokolem (RTSP) pro sledování doručení dat. Když jeden z uživatelů ruší spojení, proces přenosu UDP zpráv se zastaví a použité prostředky se vymažou.

Aby byla zajištěna zabezpečená komunikace, používají TLS (*Transport Layer Security*) a SSL (Secure Sockets Layer) v VoIP (doplnit, co používá). TLS a SSL používají asymetrické kryptografie pro ověřování, symetrické šifrování pro důvěrnost a kódy pravosti příspěvků k zachování integrity zpráv.

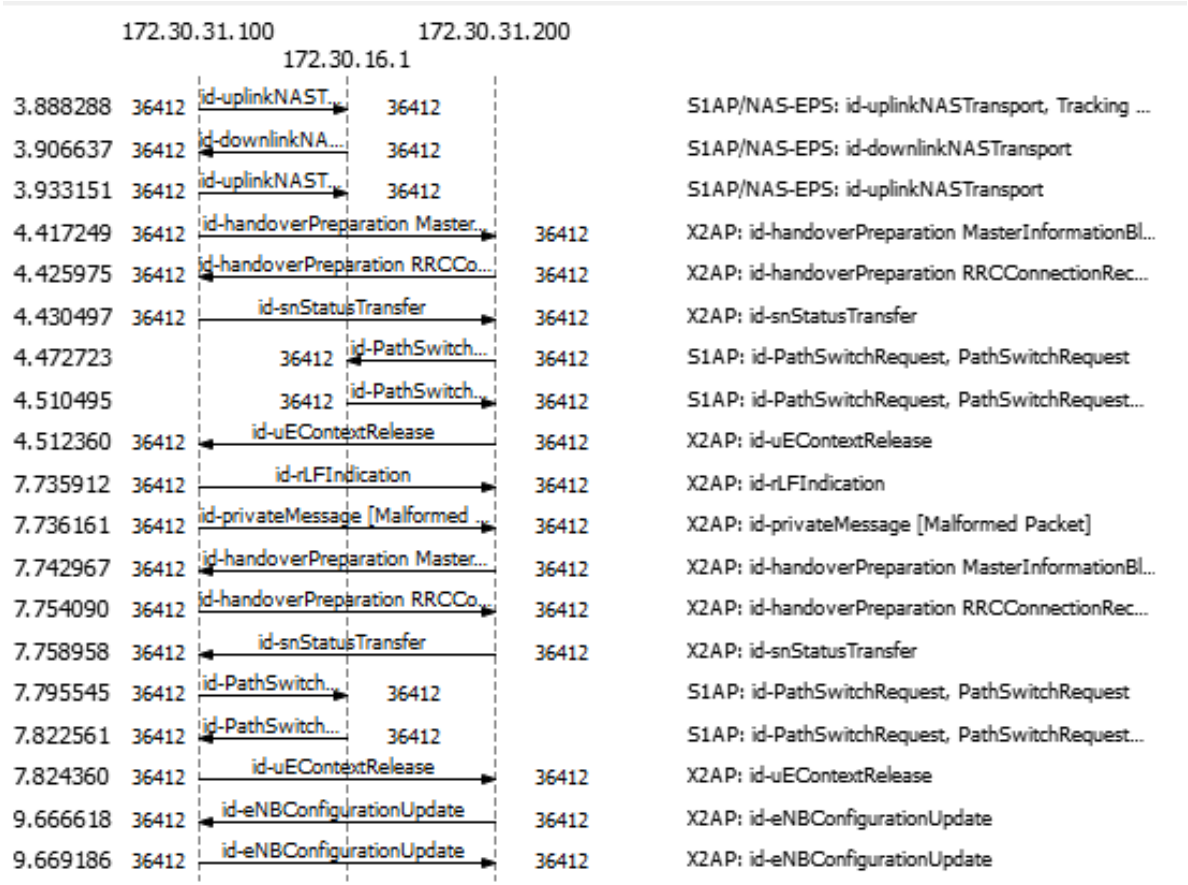


Source	Destination	Protocol	Length	Info
172.30.20.4	172.30.33.254	GTP <DNS>	111	Standard query 0x6260 AAAA eu.dr.skype.net
172.30.20.4	213.199.179.145	GTP <UDP>	180	50230 → 40006 Len=102
172.30.20.4	213.199.179.145	GTP <UDP>	180	50230 → 40028 Len=102
172.30.20.4	213.199.179.153	GTP <UDP>	158	50230 → 40002 Len=80
172.30.20.4	64.4.23.153	GTP <UDP>	158	50230 → 40002 Len=80
172.30.20.4	111.221.77.153	GTP <UDP>	158	50230 → 40002 Len=80
172.30.33.254	172.30.20.4	GTP <DNS>	147	Standard query response 0x6260 AAAA eu.dr.skype.net CNAME dr-eu.skype-cr.akadns.net
213.199.179.145	172.30.20.4	GTP <UDP>	99	40028 → 50230 Len=21
213.199.179.153	172.30.20.4	GTP <UDP>	106	40002 → 50230 Len=28
213.199.179.145	172.30.20.4	GTP <UDP>	99	40006 → 50230 Len=21
172.30.20.4	172.30.33.254	GTP <DNS>	111	Standard query 0x9d12 A eu.dr.skype.net
172.30.20.4	65.55.223.39	GTP <UDP>	158	50230 → 40015 Len=80
172.30.33.254	172.30.20.4	GTP <DNS>	275	Standard query response 0x9d12 A eu.dr.skype.net CNAME dr-eu.skype-cr.akadns.net A 104.41.230.26 A 40.12…
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	110	43731 → 50003 [SYN] Seq=0 Win=14600 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 TSval=184692 TSecr=0 WS=64
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	110	37703 → 50002 [SYN] Seq=0 Win=14600 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 TSval=184692 TSecr=0 WS=64
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	110	53681 → 50006 [SYN] Seq=0 Win=14600 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1 TSval=184692 TSecr=0 WS=64
104.41.230.26	172.30.20.4	GTP <TCP>	110	50003 → 43731 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=28960 Len=0 MSS=1440 SACK_PERM=1 TSval=506751767 TSecr=184692 W…
104.41.230.26	172.30.20.4	GTP <TCP>	110	50002 → 37703 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=28960 Len=0 MSS=1440 SACK_PERM=1 TSval=506751768 TSecr=184692 W…
104.41.230.26	172.30.20.4	GTP <TCP>	110	50006 → 53681 [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=28960 Len=0 MSS=1440 SACK_PERM=1 TSval=506751769 TSecr=184692 W…
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	102	43731 → 50003 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14656 Len=0 TSval=184697 TSecr=506751767
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	213	43731 → 50003 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14656 Len=111 TSval=184698 TSecr=506751767
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	102	37703 → 50002 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14656 Len=0 TSval=184698 TSecr=506751768
65.55.223.39	172.30.20.4	GTP <UDP>	98	40015 → 50230 Len=20
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	102	53681 → 50006 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14656 Len=0 TSval=184698 TSecr=506751769
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	199	37703 → 50002 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14656 Len=97 TSval=184698 TSecr=506751768
172.30.20.4	104.41.230.26	GTP <TCP>	196	53681 → 50006 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=14656 Len=94 TSval=184698 TSecr=506751769
64.4.23.153	172.30.20.4	GTP <UDP>	106	40002 → 50230 Len=28

Obr. 29: Datové spojení přes Skype

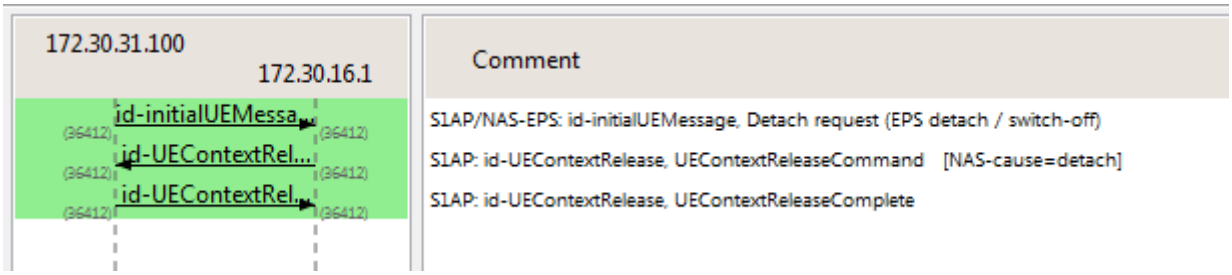
Nejdůležitější pro mobilitu uživatele je schopnost volného pohybu v rámci oblasti pokrytí mobilní sítě bez přerušení hovoru nebo přenosu dat. Jedná se o handover. V této práci je možné se seznámit se 2 typy handoveru. První typ handoveru je handover mezi buňkami v rámci jednoho eNodeB. Druhý typ je handover mezi dvěma eNodeB, tj. standardní X2 handover. Pro tento úkol aktivujeme režim sledování v WireShark a realizujeme přesun terminálu po oblasti pokrytí z dosahu jedné buňky do oblasti pokrytí druhou buňkou. V počátečním stavu se mobilní zařízení nacházelo v oblasti pokrytí první buňky a přestěhovalo se do druhé buňky. Signalizace při X2 handoveru je zobrazena na obrázku 30.

Zdrojový eNodeB iniciuje handover do cílové eNodeB. První zpráva o požadavku X2 handoveru je zpráva *Handover Preparation*, pomocí které začíná měření kvality a síly signálu. Zmíněná zpráva obsahuje veškeré systémové informace o sítích a o použitých nosičích. V další zprávě se *Handover Preparation RRC Connection Reconfiguration* síť dozví, že kvalita sousedního mobilního signálu je nyní lepší než obslužné buňky. RRC používá nejnovější měření, aby mohlo rozhodnout o zařazení handoveru do cílové buňky. *Path Switch Request* je zpráva od cílové eNodeB k MME, která požaduje stanovení S1 GTP tunelu a obsahuje nový Cell ID a sledovací oblasti ID. MME identifikuje uživatele s cílovým eNodeB a žádá SGW ohledně použití cesty k cílovému uzlu eNodeB. SGW zaktualizuje nosič a odpoví zpět. MME umožňují používat cílový eNodeB a nyní ho používá i uživatel. Zpráva *UE Context Release* se posílá, když je handover do cílové eNodeB úspěšně dokončen. Tímto síť vymaže prostředky pro zdrojový eNodeB a ukončí proces handoveru.



Obr. 30: Handover X2 z eNodeB1 do eNodeB2

Poslední etapa ve studiu experimentální sítě pomocí WireShark je proces odpojení uživatele od sítě. Tento proces předpokládá uvolnění všech zdrojů, ukončení nosičů a odstranění kontextu v síti LTE. EnodeB detekuje neaktivitu a žádá o uvolnění UE kontextu zprávou *UE Context Release Request*. MME iniciuje kontextové uvolnění. Mobilní zařízení to schvaluje zprávou *UE Context Release* a tímto ukončí proces odpojení od sítě. Tento proces je znázorněn na obrázku 31.



Obr. 31: Odpojení od experimentální sítě

6.4. Návrh laboratorní úlohy

Nedílnou součástí diplomové práce měla být vytvořená laboratorní úloha pro předmět Komunikační prostředky mobilních sítí. Laboratorní úloha je zaměřená na analýzu řídicích procedur v experimentální síti EPS.

Cílem úlohy je seznámení se s mobilními sítěmi EPS, subsystémem IMS a základními typy řídicích procedur vztažených k činnosti terminálů UE v sítích EPS, vyhledání a analýza těchto procedur typu přihlášení/odhlášení, handover a sestavení relací VoIP hovor.

K provedení laboratorní úlohy je potřeba mít dva mobilní telefony Samsung Galaxy S4 se SIM kartami pro experimentální laboratorní síť, PC s nainstalovaným programem WireShark a připojením k zrcadlenému portu (mirroring port).

Úkoly cvičení:

1. Seznámení se s jednotlivými částmi sítě;
2. Seznámení se s řídicími procedurami v síti EPS;
3. Analýza přenosu signalizačních zpráv pro přihlášení/odhlášení;
4. Analýza signalizace pro službu VoIP;
5. Analýza signalizace pro službu Handover.

Nejdříve by studenti měli být seznámeni s teorií, která je důležitá pro provádění úlohy. Ve všech fázích je nutno analyzovat řídicí procedury pomocí aplikace WireShark, která zachycuje signalizační zprávy mezi jednotlivými bloky, a nakreslit tzv. CallFlow, což je proces výměny zpráv. V první částí laboratorní úlohy se studenti musí přihlásit do experimentální sítě a provést proces registrace pomocí správné SIM karty. Prvním úkolem je určit identifikátory MNC a MCC. Po přihlášení je další etapou simulace procesu hovoru, tzn. založení datového spojení. Tento proces bude probíhat přes VoIP pomocí aplikace Skype. Skype je peer-to-peer program, který umožňuje provozovat internetovou telefonii. V dané fázi je důležité vysvětlení sestavení datového spojení a použitých protokolů. Následující fází je vyzkoušení handoveru. Jeden ze studentů musí přejít z budovy C do budovy E. Při přechodu z jedné buňky do druhé by měl druhý student sledovat proces handover ve WireShark. Pak studenti musí vysvětlit, jaký handover byl použit a princip jej fungování. Posledním procesem je odhlášení ze sítě.

Po vyplnění analýzy řídicích procedur mají studenti poslední úkol, který je zaměřen na analýzu souboru v aplikaci WireShark. Tento soubor obsahuje prováděné měření, které bylo sledované pomocí aplikace U2000. U2000 je speciální aplikace od Huawei, která je používaná pro monitorování celé experimentální sítě. Student bude muset analyzovat tento signalizační proces. Po ukončení všech praktických úkolů musí studenti odpovědět na kontrolní otázky, případné problémy konzultovat s vyučujícím. Laboratorní úlohu lze nalézt v příloze.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo seznámení s mobilními sítěmi EPS a subsystémem IMS. V práci byly představeny mobilní systémy od první generace po systémy čtvrté generace. Pro síť čtvrté generace byly popsány rádiové kanály, které jsou použité pro uplink a downlink. Dále jsem popsal architekturu sítí čtvrté generace a subsystémů IMS s jejími hlavními prvky.

V další kapitole bylo upozornění na protokolový model LTE sítě, kde se čtenář může seznámit s funkční vrstvou pro přenos přes vzdušné rozhraní (AS) a vrstvou pro vytvoření spojení s nosiči (NAS). Zajímal jsem se o uživatelské roviny rádiové přístupové sítě a o řídicí roviny rádiové přístupové sítě a páteřní sítě. Popsal jsem stručně přehled vrstev.

Zkoumány rovněž byly i typy řídicích procedur vztažených k činnosti terminálu UE v síti EPS, jako je připojení uživatele do systému, jeho registrace, změna sledovací oblasti, zahájení a ukončení datového spojení, handovery v síti LTE a handover z LTE do UMTS. Všechny typy řídicích procedur jsou ilustrovány přiloženými obrázky.

Praktická část se skládala ze seznámení se s experimentálními sítěmi, analýzy rádiového rozhraní, analýzy řídicích procedur sítí EPC a vytváření laboratorní úlohy. K provedení laboratorní práce byla použita mobilní experimentální síť LTE na FEKT VUT Brno, byla analyzovaná její architektura s důrazem na základnové stanice a rozdělení na buňce. V kapitole Analýza rádiového rozhraní bylo popsáno pokrytí experimentální sítě pomocí nástroje Rohde Schwarz ROMES4 a analyzátoru rádiové sítě. Byly nalezeny kmitočtové a spektrální charakteristiky v pásmě 3 a pásmě 17. Pro analýzu řídicích procedur sítí EPC byla použita dvě mobilní zařízení Samsung Galaxy S4, pomocí nichž jsem vyzkoušel přihlášení k experimentální síti, odhlášení, handover a datové spojení pomocí VoIP. Každá procedura byla projednaná a sledovaná v aplikaci WireShark. Všechny řídicí procedury jsou ilustrovány obrázkem.

Na základě nabytých znalostí byla navrhouta laboratorní úloha pro předmět Komunikační prostředky mobilních sítí. Laboratorní úloha je zaměřená na analýzu řídicích procedur v experimentální síti EPS. Během vyplnění laboratorní úlohy by se studenti měli seznámit se systémem EPS a jeho jednotlivými částmi, s řídicími procedurami v sítí EPS. Následně budou provádět analýzu těchto procedur. Návod k laboratorní úloze lze nalézt v příloze.

Literatura

[1] WALKE, Bernhard. Mobile radio networks: networking and protocols. New York: John Wiley & Sons, 1999. ISBN 0471975958.

[2] SESIA S., TOUFIK I., BAKER M., LTE – the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-470-69716-0, GB, 2009

[3] GUNNAR, H. Long Term Evolution - Signaling & Protocol Analysis. Inacon, ISBN 978-3-936273-61-8, 2009

[4] Novotný V., Mobilní komunikační sítě a služby v all-IP prostředí pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014.

[5] V. Srinivasa Rao, Rambabu Gajula, Protocol Signaling Procedures in LTE, 2011. Dosupné z: http://go.radisys.com/rs/radisys/images/paper-lte-protocol-signaling.pdf

[6] Handover Process in LTE. In: Telecom Techniques Guide [online]. [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://www.teletopix.org/4g-lte/handover-process-in-lte/

[7] KREHER, Ralf. a Karsten. GAENGER. LTE signaling, troubleshooting, and optimization. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011. ISBN 9780470689004.

[8] V. Srinivasa Rao, Rambabu Gajula, Ineroperable UE Handovers in LTE, 2011. Dostupné z: http://go.radisys.com/rs/radisys/images/paper-lte-protocol-signaling.pdf

[9] The LTE Network Architecture [online]. Dostupné z: http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf

[10] LTE Overview [online]. Dostupné z: http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_quick_guide.htm

[11] HANUS, Stanislav. Nové technologie mobilních komunikací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav telekomunikací, 2013. ISBN 978-80-214-4824-7.

[12] Long Term Evolution Protocol Overview, 2008. 21s. [online]. Dostupné z: http://www.freescale.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/LTEPTCLOVWWP.pdf

[13] Arnaud Meylan. LTE Radio Layer 2, RRC and Radio Access Network Architecture, 2010, 44s.[online]. Dostupné z:

ftp://www.3gpp.org/Information/presentations/presentations_2010/2010_06_India/3GPP%20LTE%20Radio%20layer%202.pdf

[14] LTE protocols explained, following 3GPP structure. [online] Dostupné z: http://www.masterltefaster.com/lte/controlplane.php

[15] System Architecture Evolution (SAE) – Security architecture, 3GPP, Tech. Rep. TS 33.401 Version 10.3.0 Release 10, 2012

[16] POIKSELKÄ, Miikka a Georg MAYER. The IMS: IP multimedia concepts and services. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2009. ISBN 978-0-470-72196-4.

[17] STALLINGS, William. The Session Initiation Protocol [online]. 2003 [cit. 02. 04. 2014]. Dostupné z: http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_6-1/sip.html

[18] Open Source IMS Core [online]. Dostupné z: http://www.openimscore.org/

[19] LTE E-UTRAN and its Access ide Protocols [online]. Dostupné z: http://go.radisys.com/rs/radisys/images/paper-lte-eutran.pdf

[20] Dutta, Aveek; Norton,Dave; Xiao,Jun. 3GPP LTE-Evolved UTRAN-Radio Interface Concepts [online]. Dostupné z: http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm

[21] Share Technote. [online]. Dostupné z: http://www.sharetechnote.com/

[22] Netmanias. [online]. Dostupné z: http://www.netmanias.com/en/post/blog/5929/guti-imsi-indentifier-lte/lte-user-identifiers-imsi-and-guti

[23] Novotný V., Krkoš R., Šedý J., Mobilní experimentální síť LTE-WiFi-EPC-IMS na FEKT VUT Brno. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015.

Seznam zkratek

ACK	Acknowledgement, Potvrzení
ARQ	Automatic Repeat Request
AS	Access stratum, Přístupová vrstva
AUC	Authnetication Centre, Autentizační centrum
eNodeB	E-UTRAN Node B (Evolved Node B), Hardware, který je připojen k mobilní telefonní síti
EPC	Evolved Packet Core, Vylepšené paketové jádro
E-Rab	evolved-Radio Acces Bearer, Vylepšený rádiový přístupový nosič
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network, Vylepšená Univerzální Přístupová sít’
FDMA	Frequency Division Multiple Access, Vícenásobný přístup s frekvenčním dělením
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication, Celosvětový standart pro mobilní komunikace
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access, Výsokorychlostní paketové spojené ve směru downlink
HSS	Home Subscribe Server, Domovský účastnický server
I-CSCF	Interrogating-Call Session Control Function
IM	Instant messaging
IMS	IP Multimedia subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity, Unikátní číslo přidělené mobilním operátorem pro SIM kartu v mobilní síti
IP	Internet protocol
ISIM	IP Multimedia Subsystem SIM
LTE	Long Term Evolution
MAC	Medium Access Layer
MCC	Mobile Country Code
MIB	Master Info Broadcast, Broadcastové systémové parametry
MME	Mobility Management Entity, Klíčový řídicí uzel pro přístupové sítě LTE.
MNC	Mobile Network Code

MSIN	Mobile Subscriber Identification Number
NAS	Non-Access Stratum, Funkční vrstva v síti LTE mezi páteřní sítí a uživatelským zařízením.
NMT	Nordic Mobile Telephony, Mobilní telefonie v Severní Evrope
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing, Ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
PCRF	Police and Charging Rules Function, Pravidla pro účtování služeb a pro kvalitu
P-CSCF	Proxy-Call Session Control Function
PDCP	Packet Data Convergence Protocol, Jedna z vrstev protokolového zásobníku
P-GW	PDN Gateway, Výchozí brána pro paketový přenos
QAM	Quadrature amplitude modulation, Kvadraturní amplitudová modulace
QoS	Quality of Services, Kvalita služeb
QPSK	Quadrature phase-shift keying, Kvadraturní klíčování fázovým posuvem
RLC	Radio Link Control
RRC	Radio Resource Control
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiplex Access
S-CSCF	Serving-Call Session Control Function
SFN	System Frame Number
S-GW	Serving Gateway, Služební výchozí brána v systému LTE
SIP	Session Initiation Protocol, protokol pro inicializaci relací
TDMA	Time Division Multiple Access, Vícenásobný přístup s časovým dělením
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity
UMTS	Universal Mobile Telecommunacitons System, Univerzální mobilní systém
UICC	Universal Integrated Circuit Card, Univerzální Integrovaná karta
UE	User Equipment, Uživatelské zařízení
USIM	Universal Subscriber Identity Module, Univerzální Identifikační karta
VoIP	Voice over IP
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access, Širokopásmový vícenásobný přístup s kódovým dělením

Seznam příloh

A. Laboratorní úloha
B. Obrázek pracoviště

Přílohou k prácí je CD, které obsahuje soubor DP_Zagumennov.pdf s kompletní diplomovou prácí v elektronické podobě. Dále se na přiloženém CD nacházejí všechny potřebné soubory k laboratorní úloze.

Příloha A

Analýza řídicích procedur v mobilních sítích EPS

Cíl

Seznámení se s mobilními sítěmi EPS a subsystémem IMS a základními typy řídicích procedur vztažených k činnosti terminálů UE v sítích EPS. Pomocí programu WireShark vyhledat a analyzovat základní řídicí procedury typu přihlášení/odhlášení, handover a sestavení relací VoIP hovor.

Požadavky na pracoviště

2x mobilní telefony Samsung Galaxy S4 s SIM kartami pro experimentální laboratorní síť, PC s s nainstalovaným programem WireShark a připojením k zrcadlenému portu (mirroring port).

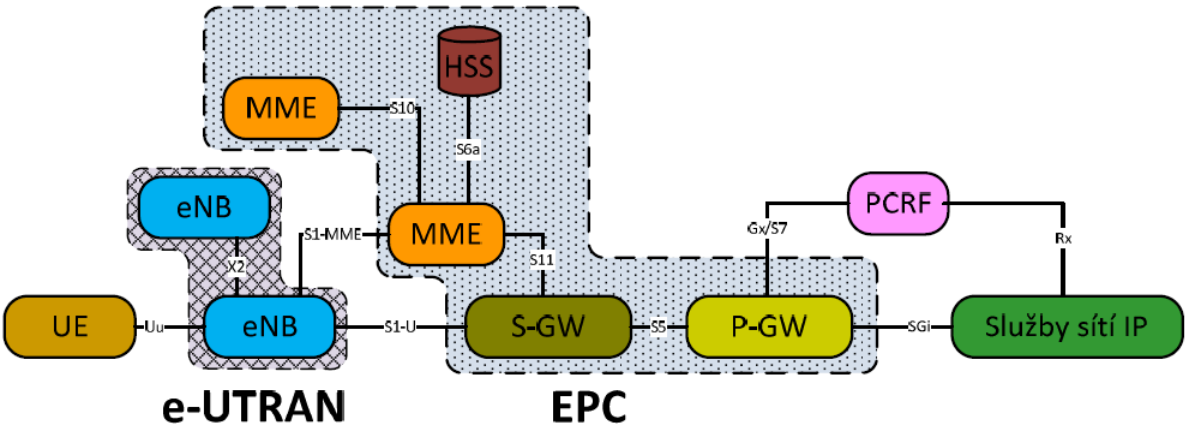
Úkoly

6. Seznámení se s jednotlivými časti sítě;
7. Seznámení se s řídicími procedury v sítí EPS;
8. Analýza přenosu signalizačních zpráv pro přihlášení/odhlášení;
9. Analýza signalizace pro službu VoIP;
10. Analýza signalizace pro službu Handover.

Teoretický úvod

Architektura EPS a její bloky

LTE se skládá ze dvou hlavních částí, E–UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Access Network, Vylepšená Univerzální Přístupová síť*) a EPC (*Evolved Packet Core, Vylepšené paketové jádro*). EPC představuje páteřní síť a E-UTRAN představuje přístupovou síť. Na obrázku 1 je zobrazeny hlavní části sítí čtvrté generace.



Obr. 1: Architektura sítí EPS. Převzato z [1]

UE (*User Equipment, Uživatelské zařízení*) je uživatelské zařízení pro účastníka LTE síti, které musí mít unikátní SIM kartu. Na této kartě běží jedna z aplikace, která obsahuje telefonní číslo uživatele a domovskou síť. [2]

E–UTRAN zpracovává rádiovou komunikaci mezi mobilními zařízeními a EPC za pomocí eNB (*evolved Node B*). eNB je základnová stanice, která řídí mobilní zařízení v jedné nebo více buňkách. Hlavní funkce eNB:

- přenášení rádiového signálu do všech mobilních zařízení na downlink;
- doručování signálu z uplinku pomocí analogového a digitálního zpracování;
- kontrola operace pro všechny mobilní zařízení. [3]

V části EPC se nenachází bloky pro komutovaný přenos, protože EPC řídí celou síť. EPC se skládá z MME (*Mobile Management Entity, Klíčový řídící uzel pro přístupové sítě*), HSS (*Home Subscribe Server, Domovský účastnický server*), S-GW (*Serving Gateway, Služební výchozí brána*) a P-GW (*PDN Gateway, Výchozí brána pro paketový přenos*).

MME je hlavní řídicí prvek sítě LTE, který má za úkol řízení mobilního provozu. Stará se o signalizační a řídicí funkce důležité pro připojení UE do sítě, přidělení zdrojů sítě a řízení mobility UE v síti, tedy o paging, roaming a handover. MME se stará o šifrování pro zajištění odolnosti proti odposlechu. Síť může obsahovat více MME, kde každá MME je odpovědná za jednu vyhrazenou oblast. [2]

HSS je centrální databáze všech účastníků v síti, která obsahuje informace o jejich povolení využívat různé služby. HSS je spojena se všemi MME v síti a zasílá jim kopie uživatelských profilů. Tento blok se také stará o autentičnost. [4]

S-GW slouží, mimo jiné, pro kompatibilitu mezi systémy 2G, 3G a LTE. Síť obsahuje několik S-GW bran, z nichž se každá brána stará o vyhrazenou oblast. S-GW má na starosti uživatelskou rovinu přenosu dat a je také zodpovědná za handovery mezi sousedními eNB. Monitoruje a spravuje kontext informací spojených s UE během klidového režimu a sestavuje směrem k ní datové spojení. Každé mobilní zařízení je přiřazeno k jedné S-GW bráně, která se změní, pokud mobilní zařízení opustí vyhrazenou oblast. [4]

P-GW je brána, která poskytuje připojení od UE do externí paketové datové sítě, jako vstupní a výstupní bod pro uživatelský provoz. Každé mobilní zařízení musí být připojené k P-GW, aby bylo připojeno k výchozí paketové síti. Později může být mobilní zařízení připojeno k více P-GW branám. Všechny P-GW brány zůstávají stejné po celou dobu připojení mobilního zařízení. V rámci P-GW je uskutečňováno řízení přístupu, filtrování paketů pro uživatele, účtování. Za tím účelem kontaktuje PCRF, aby zjistilo, jaká oprávnění konkrétní uživatel má, a předávalo zúčtovací informace. [4]

PCRF (*Policy and Charging Rules Function, Pravidla pro účtování služeb a pro kvalitu*) dohlíží na kvalitu služeb QoS (*Quality of Services, Kvalita služeb*) a vyúčtování služeb. [4]

IMS subsystém

IMS (*IP Multimedia subsystem*) je koncept pro telekomunikační sítě, které by vylepšilo využití IP (*Internet Protocol*) pro paketové komunikaci ve všech známých formách bezdrátových komunikace nebo pevných sítí. Příklady takových komunikace zahrnují tradiční telefonie, fax, e-mail, Přístup na internet, Webové služby, VoIP (*Voice over IP*), IM (*Instant messaging*), videokonferenci a vyhledávání videa.

VoIP

VoIP je technologie, která umožňují přenos digitalizovaného hlasu přes IP sítě, jako je například Internet. Pro přenos hlasu se používá na třetí vrstvě OSI modelu protokol IP a na čtvrté vrstvě protokol UDP. Každy UDP datagram je zakódovaný určitým algoritmem. Rodina VoIP protokolu se rozděluje na H.323 a SIP. Nejsložitější a nejvíce pokročilý je H.323. Nejvíce perspektivní je SIP. Velkou výhodu má SIP v tom, že prochází bez větších potíží přes místo, kde v síti probíhá překlad adres NAT.

IMSI

IMSI (*International Mobile Subscriber Identity, Unikátní číslo přidělené mobilním operátorem pro SIM kartu v mobilní síti*) je jedinečný identifikátor, který globálně identifikuje mobilního účastníka. Pomoci IMSI, operátoři mohou umožnit účastníkovi pokusy o přístup k jejich síti, nebo ne. Také je třeba identifikovat své účastníky aby rozhodnout, která QoS politika (šířka pásma, priorita, atd.) platí pro každého z nich, a nakonec účtovat za poskytnuté služby pro každého účastníka. IMSI se skládá ze tří částí:

- MCC (*Mobile Country Code*) identifikuje jedinečně země bydliště uživatele
- MNC (*Mobile Network Code*) je jedinečný identifikátor operátora mobilní sítě
- MSIN (*Mobile Subscriber Identification Number*) je jedinečný identifikátor, který identifikuje účastníka v rámci mobilního operátora

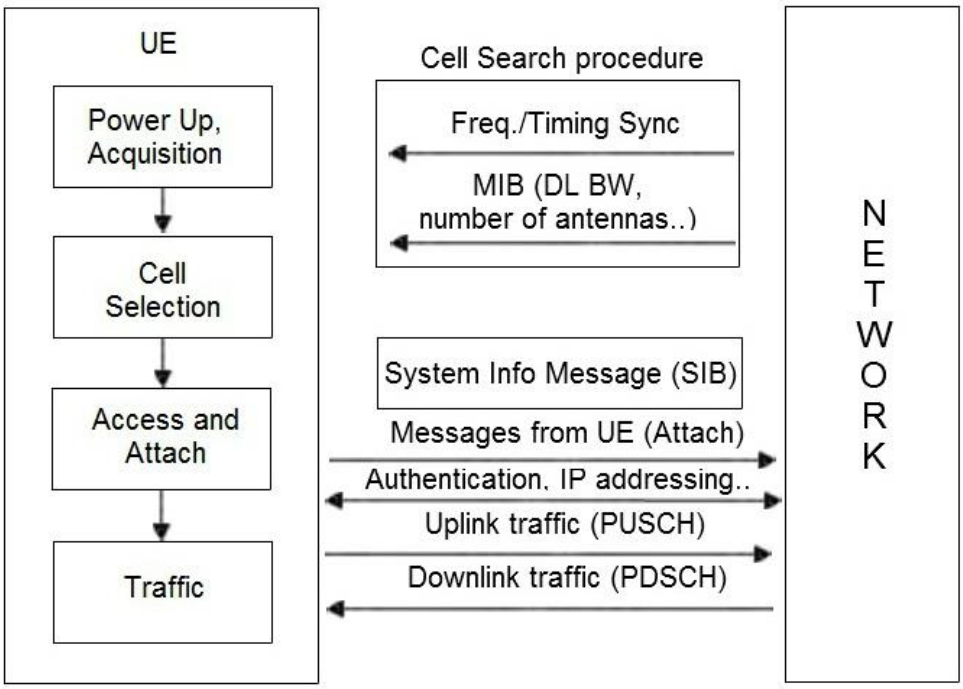
Přihlášení uživatele do sítě

Při zapnutí mobilního terminálu uživatelem zařízení neví aktuální informace o buňkách, které jsou aktuálně kolem něj. Tím pádem terminál hledá buňku po celém pásmu a měří hodnoty pro každý signál. Když stanice ukončí výběr, v tuto dobu má dostatečné informace o signálech v okolí. Teď se terminál bude nacházet v stavu Idle do té doby, když neproběhne žádost o využívání služeb. Proces přihlášení uživatele do sítě je zobrazen na obrázku 2.

Popis připojení uživatele do sítě:

1. UE po jeho zapnutí začíná hledáním buňky a mobilní sítě;
2. Po zapnutí UE začíná proces výběru nosného kmitočtu a synchronizace času s buňkou;
3. UE dostává MIB (*Master Info Broadcast, Broadcastové systémové parametry*), které se skládá z šířky pásma downlink, počtu antén, SFN (*System Frame Number*). Tento brodcastový parametr opakuje každých 40 ms;
4. Když UE naváže spojení s buňkou, přejde do Idle stavu tzn. teminál provádí procesy sledované sítí;

5. UE vstoupí do režimu přístupu při žádosti o akci;
6. Když jsou přiděleny prostředky, nosič je ustanoven pro uplink a downlink provozy. [5]



Obr. 2: Přihlášení uživatele do sítě. [5]

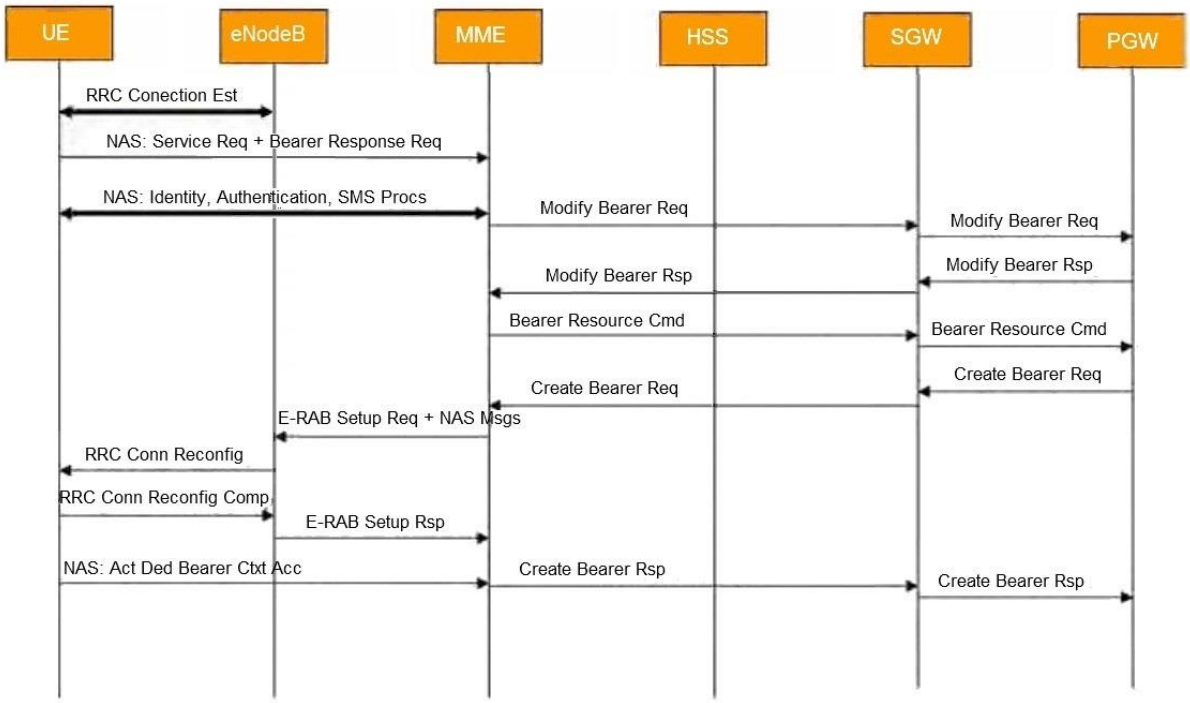
Sestavení datového spoje

Po úspěšném připojení k síti může UE požadovat služby na NAS úrovni. Pro využívání všech služeb LTE mezi UE a P-GW je stanoven defaultní nosič a přidělena IP adresa pro UE. Proces sestavení datového spoje je na obrázku 3.

Popis sestavení datového spoje:

1. UE naváže RRC spojení s eNB.
2. UE odešle servisní požadavek na MME a požaduje nosič. Jako součást tohoto, eNB zavádí S1 logické spojení s MME pro UE. UE může také zaslat požadavek na přidělení nosiče do MME jako samostatnou zprávu v pozdějším časovém okamžiku.
3. V tomto bodě síť může iniciovat volitelné postupy k identifikaci, jako jsou například procesy ověřování a zabezpečení.
4. Po dokončení ověřování a kontrolních postupů režimu zabezpečení vytvoří MME GTP-C tunel a naváže nosič s S-GW.
5. S-GW aktivuje požadované prostředky a předá zprávu o úpravě nosiče směrem k P-GW.
6. P-GW zpracovává zprávu o úpravě nosiče a aktivuje požadované prostředky. IP adresa nebyla přidělena během připojení, takže se to nestane teď.
7. MME nyní iniciuje dedikovaný nosič.
8. S-GW zpracovává dotaz o iniciace nosiče a předá jej P-GW zdrojům.

9. P-GW odpoví na potvrzení iniciace nosiče směrem k S-GW po rozdělení přidělených prostředků.
10. S-GW vytvoří potvrzení o iniciace nosiče a předá do MME pro další zpracování.
11. MME nyní odešle žádost o aktivaci E-RAB (*evolved-Radio Acces Bearer, Vylepšený rádiový přístupový nosič*) k eNB. V této fázi pak odesílá NAS aktivace nosičů k UE.
12. eNB přiděluje prostředky pro Rádio nosič a zahrnuje přijaté NAS zprávy
13. UE stanoví Rádio nosič a v odpovědi to potvrdí na eNB
14. Rádio nosič je teď stanoven mezi eNB a UE, takže eNB potvrdí aktivaci E-RAB nosiče na MME.
15. UE vyšle NAS zprávu o aktivaci dedikovaného nosiče k MME přes eNB.
16. MME potvrdí aktivace na S-GW a pak na P-GW. [6]



Obr. 3: Sestavení datového spoje. [6]

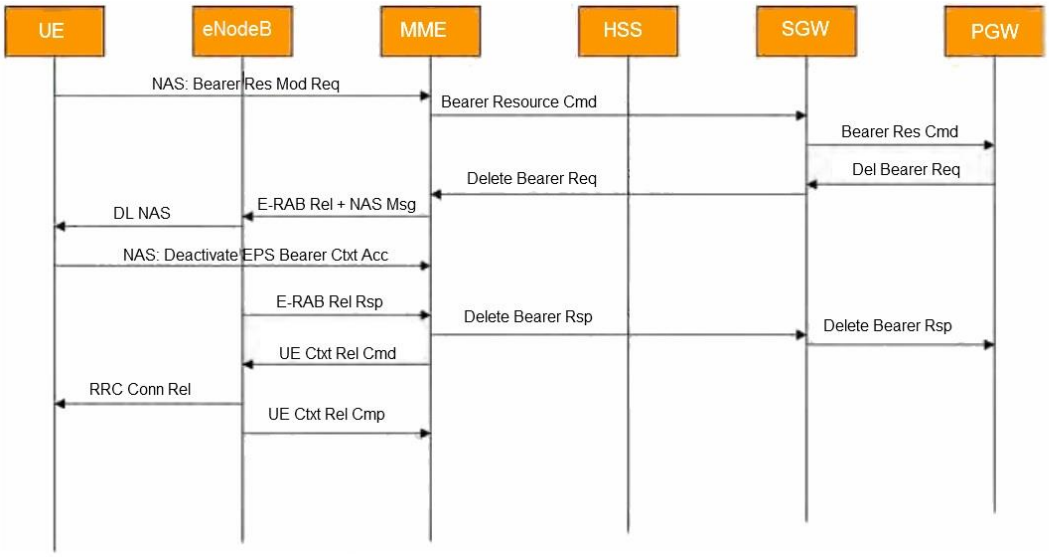
Ukončení datového spoje

Když UE dokončí datový hovor, může aktivovat uvolňování dedikovaného nosiče přes MME, které se pak může postarat o uvolnění dedikovaného nosiče s S-GW a P-GW. Proces ukončení datového spoje je na obrázku 4.

Popis ukončení datového spoje:

1. UE spouští uvolnění dedikovaného nosiče zasláním zprávy o uvolnění k MME.
2. MME iniciuje proces deaktivace nosiče.
3. Přes S-GW P-GW dozví o uvolnění nosiče
4. P-GW iniciuje osvobození nosiče a potvrdí to zprávou k S-GW. S-GW předává totéž k MME.
5. MME iniciuje osvobození E-RAB nosiče a vyčistí prostředky nosiče. To zahrnuje NAS zpráva: deaktivace EPS nosiče pro UE.

6. UE obdrží zprávu NAS z eNB, která uvolní prostředky nosiče a odešle potvrzení o deaktivace EPS nosiče k MME.
7. eNB nyní odešle zprávu o uvolnění E-RAB nosiče na MME.
8. MME zašle zprávu o zrušení prostředků nosiče k P-GW přes S-GW.
9. PGW vymaže požadované prostředky.
10. Pokud se jedná o rušení posledního dedikovaného nosiče pro tuto UE, musí MME uvolnit asociace s tímto UE zasláním zprávy o uvolnění S1AP UE.
11. eNB vymaže Rádio prostředky, které jsou přidělené na tento UE.
12. eNB potvrdí vymazání na MME. [6]



Obr. 4: Ukončení datového spoje [6]

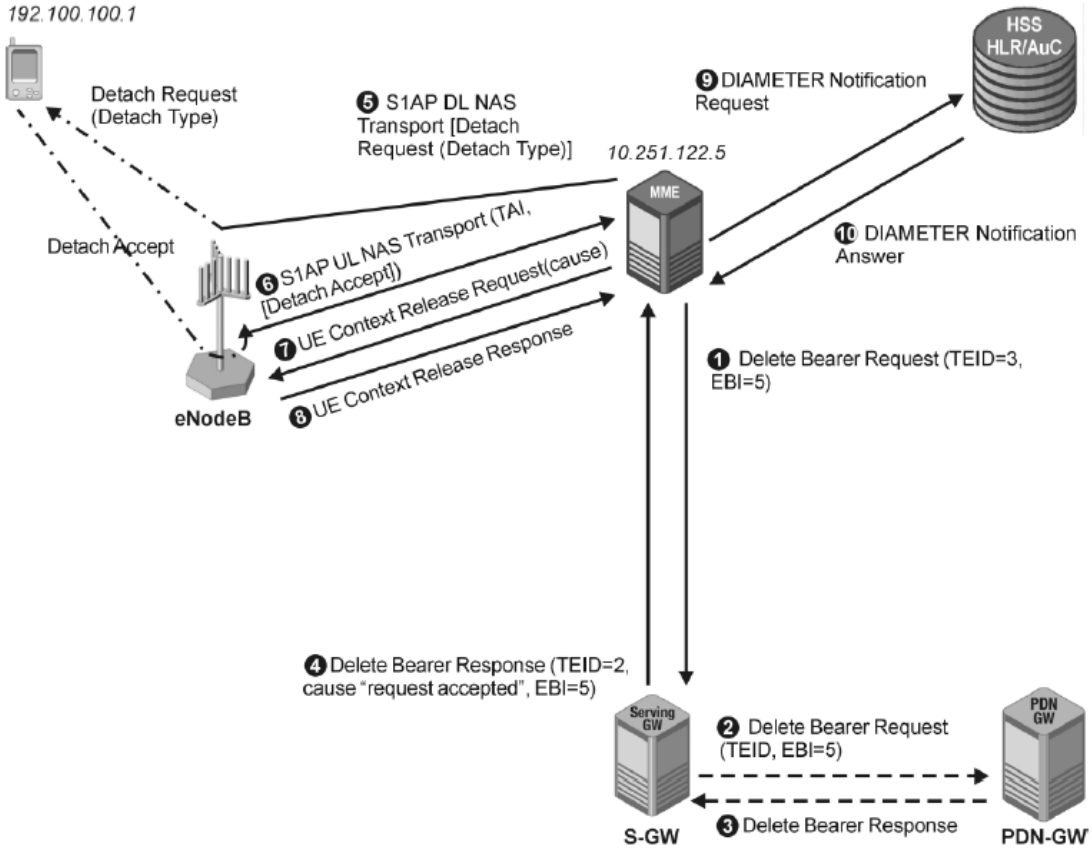
Odpojení od sítě

Mobilní sítě, stejně jako jiné sítě, nejsou stoprocentně odolné vůči ztrátě připojení uživatelů. V situacích, kdy je účastník nedostupný z důvodu ztráty signálu nebo vypnutého telefonu, síť může považovat uživatele za nedostupného. Odpojení od sítě může požadovat buď samotná síť, nebo o odpojení žádá sama mobilní stanice. V prvním případě, pokud systém požaduje od mobilní stanice pravidelné aktualizace poloh a po nějaký stanovený interval nedostane systém zprávu o aktuální poloze uživatelského zařízení, bere takovou mobilní stanici jako neaktivní a odpojí ji. Systém si poznačí tohoto účastníka jako neaktivního, popřípadě smaže jeho dočasnou lokaci. Při inicializaci odpojení směrem od uživatelského zařízení odesílá stanice zprávu o odpojení IMSI/DETACH. Na tuto zprávu nemusí přijít odpověď od systému, jelikož stanice už nemusí být schopna tuto zprávu přijmout. [7]

Na obrázku 5 je naznačen princip odpojení v systému LTE, inicializován směrem k uživatelskému zařízení, kde se nejdříve vyšle požadavek pro uvolnění a smazání spojení inicializovaných od neaktivního účastníka.

Popis odpojení od sítě:

1. MME pošle žádost na odstranění nosiče na S-GW.
2. S-GW začne proces mazání nosiče na S5 rozhraní a pošle stejnou signalizační zprávu k P-GW.
3. P-GW uvolní prostředky nosiče a potvrdí uvolnění na S-GW.
4. S-GW přepošle tu zprávu do MME.
5. NAS zpráva se odesílá z MME do UE.
6. UE odpoví na požadavek o deaktivaci NAS, pokud UE ještě může reagovat na signalizační zprávy.
7. MME spustí postup osvobození UE kontextu odesláním S1AP zprávy k eNB.
8. eNB potvrzuje uvolnění kontextu UE.
9. MME informuje HSS o odpojení UE pomocí protokolu Diameter.
10. HSS označuje informace o uživateli a potvrdí přijetí na MME. [5]



Obr. 5: Odpojení v síti LTE. Převzato z [7]

Handover

Handover je automatické proces předání spojení od jedné buňky do jine buňce, který probíhá, když UE mění svou polohu. V rámci LTE předání jde mezi eNB a UE zůstává přihlášeno do stejné MME a S-GW. Pro rozhodnutí o handoveru se měří přenosová kvalita spojení a změna se provede, když to zaručí zlepšení kvality. Výsledek měření je předán přes RRC protokol. Po předání měření algoritmus handoveru ověří, zda by mělo dojít k předání UE jinému eNB.

Hlavními důvody handoveru jsou:

- Sousední základní stanice může poskytovat nejlepší kvalitu spojení pro uživatele, než stanice, která slouží v daném čase;
- Nedostatečná úroveň užitečného signálu;
- Nedostatek základnových stanic;
- Špatné nastavení provozních režimu rádio sítí.

Handover se rozděluje na Hard Handover a Soft Handover. Hard Handover („break before make“) je takový, ve kterém je kanál ve zdrojové buňce uvolní a potom kanál v cílové buňce je v záběru. Hard handover je relativně levnější a snadněji proveditelné ve srovnání s jinými typy. Soft Handover („make before break“) je takový, ve kterém je kanál ve zdrojové buňce uchovává a používá se na chvíli paralelně s kanálem v cílové buňce. V nabídkách spolehlivější připojení k síti a menší šance na ukončení volání v průběhu přepínání základnových stanic ve srovnání s pevný. Technická realizace Soft Handover je dražší a složitější v porovnání k Hard Handover.

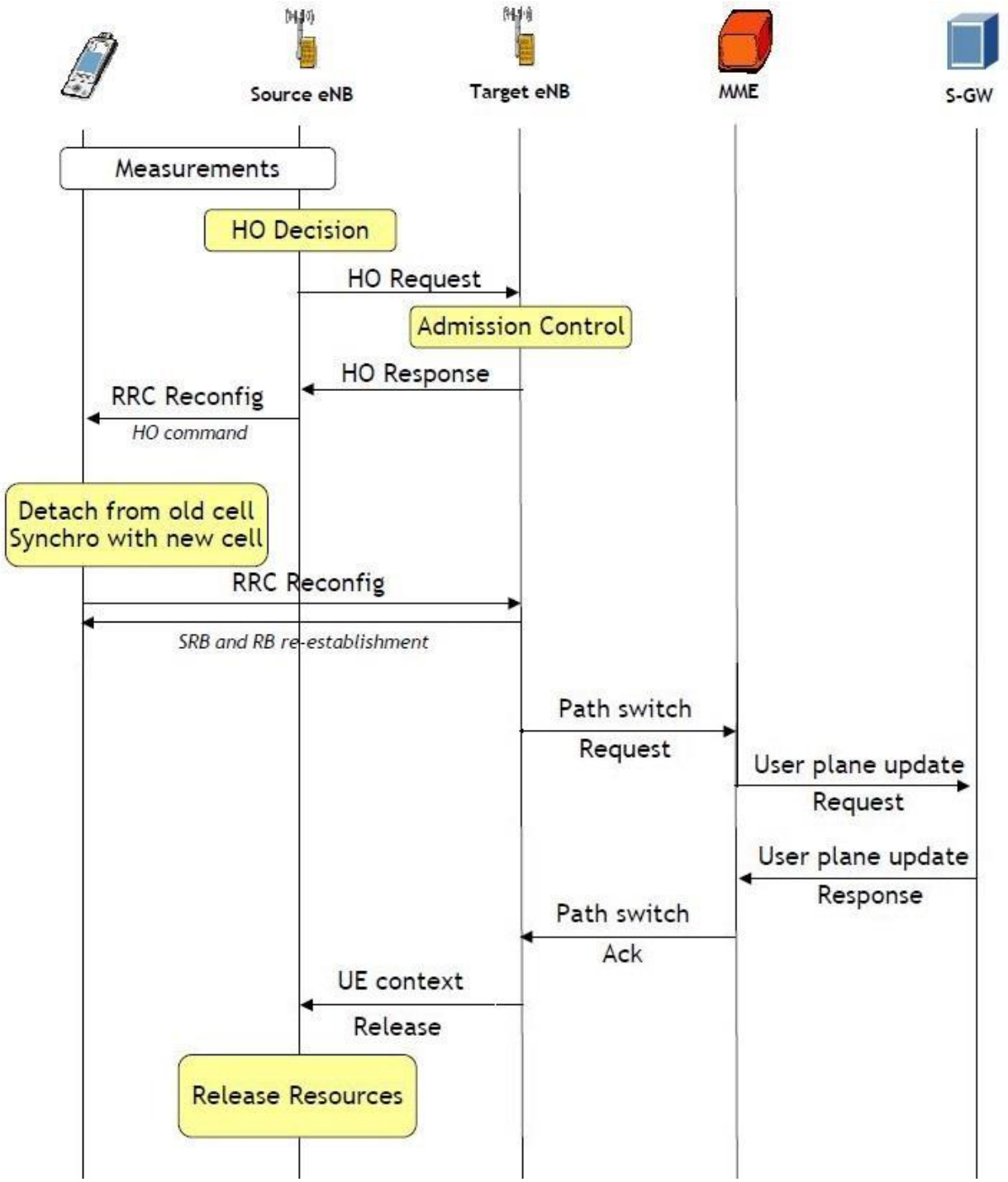
Systém LTE má inteligentnější základovou stanici eNodeB, která dokáže o handoveru rozhodovat sama. V rámci EPC síti nejdůležitější jsou X2 handover, S1 handover a handover do jiné technologie (Inter-RAT handover). Tyto tři procesy budou projednány v dalších podkapitolách.

X2 handover

Když jsou dvě základové stanice eNB přímo propojeny rozhraním X2 a jsou řízeny stejnou jednotkou MME, jedná se o X2 Handover. UE poskytují měřicí zprávy, ale eNB je zodpovědný za Handover rozhodnutí a exekuce. Tento proces je zobrazen na obrázku 6.

Popis X2 handover:

1. Pokud jsou splněna kritéria, eNB odesílá Handover požadavky na cílové eNB.
2. Cílové eNB vyhodnotí zdroje a odpoví ACK (*Acknowledgement, Potvrzení*).
3. ACK obsahuje všechny údaje, UE bude muset komunikovat s cílovou eNB.
4. UE opustí zdrojový ENB; zdrojový eNB ušetří všechna příchozí data pro UE a odesílá je do cílové eNB přes X2.
5. Cílový eNB posílá "Path Switch Request" k MME, žádající S1u o rekonfiguraci nosičů.
6. MME kontaktuje S-GW, aby přesměrovalo data na cílové eNB.
7. Zdrojový eNB se uvolní po ukončení. [8]



Obr. 6: LTE X2 Handover. Převzato z [8]

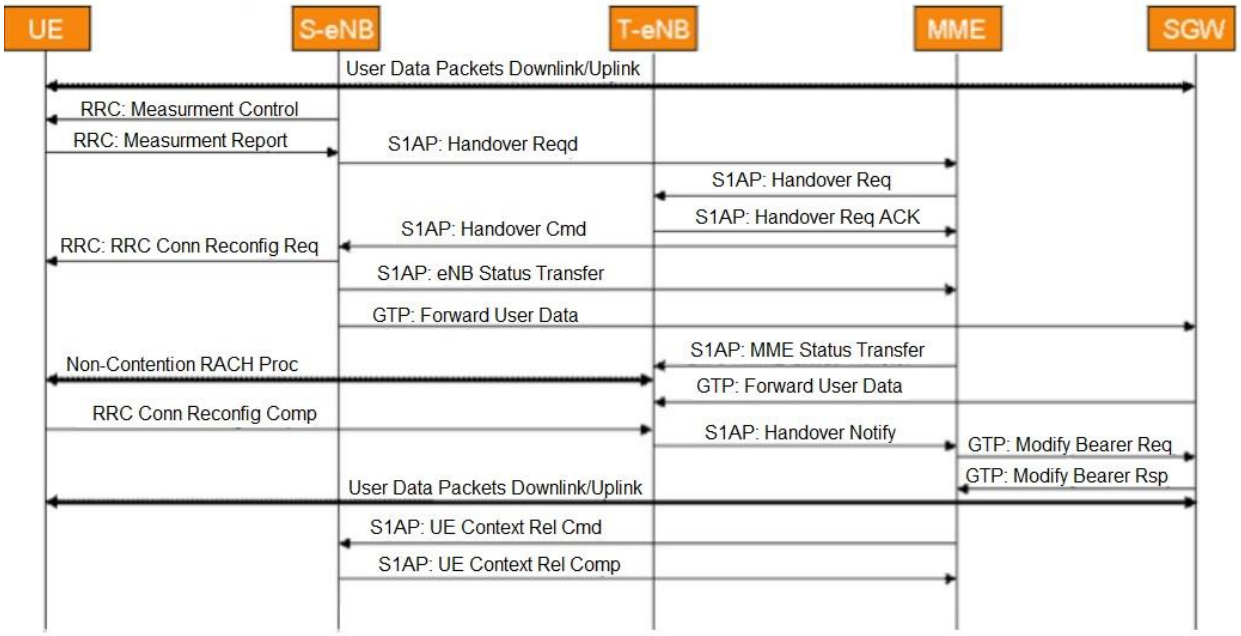
S1 Handover

S1 Handover se používá, pokud nejsou dvě základnové stanice eNodeB spojeny přes rozhraní X2, a účastník přechází do buňky jiné eNodeB. S1 Handover se liší od X2 Handoveru tím, že požadavek na handover je posílán jednotce MME, která předá požadavek na handover cílové eNodeB. Popis S1 handover:

1. Zdrojový eNB posílá „Handover required“ k MME.
2. Zdrojový eNB musí najít cílový MME a zahájit postup přemístění. Cílový MME je odpovědný za přípravu cílového eNB.

3. Cílový MME také vytvoří S1u nosič.
4. Mohou být stanoveny tunely mezi S-GW, aby nedošlo ke ztrátě paketů. X2 připojení se používá, pokud je k dispozici.

Existují situace, když dojde k S1 handoveru a potřebuje změnit spolu se zdrojovým eNB ještě MME a občas S-GW. Když účastník přesune z jedné MME zóny do druhé, se jedna o inter-MME handoveru. Tady každá z MME ovládá svoje eNB, ale mají stejnou služební výchozí bránu, která je zodpovědná za iniciace handoveru. [3]



Obr. 7: LTE S1 Handover. [9]

Postup prací

1. Zapněte počítač a spusťte program WireShark.
2. Přejděte do režimu sledování a vyberte zrcadlový port.
3. Vložte SIM karty laboratorní sítě do obou telefonů a zapněte jeden z nich.
4. Po zapnutí telefonu program WireShark zachycuje signalizační zprávy, které souvisí s připojením uživatele k experimentální síti. Zjistěte, které prvky se vyměňují zprávami. Určete identifikátory MNC a MCC. Zjistěte IMSI a M-TMSI a vysvětlete co, to je.
   Pro snadné použití programu WireShark doporučuji každý jednotlivý bod měření ukládat v samostatném dokumentu. Pro každý krok je potřeba nakreslit Callflow.
   V případě, že se mobilní zařízení nemůže připojit k laboratorní síti, zkontrolujte, zda je povolen LTE režim v nastaveních. Pro ověření výběru použité sítě je třeba zadat *#*#4636#*#* do telefonu. Potom se otevře skrytý režim nastavení. Přejděte na záložku Phone Info a nastavte preferovaný typ sítě na LTE.
5. Vypněte telefon a sledujte signalizační zprávy ve WireShark. Zjistěte důvod odpojení od sítě.
6. Zapněte oba telefony a spusťte program Skype. Přihlaste se na Skype pomocí přihlašovacího jména a hesla.

Tab. 1: Uživatelé Skype

	První uživatel	Druhý uživatel
Login	user.UTKO1	user.UTKO2
Heslo	userUTKO1	userUTKO2

Zavolejte z jednoho telefonu do druhého a sledujte proces výměny signalizačními zprávami mezi hlavními bloky EPC. Vysvětlete, proč jsou vnější síťové adresy uvedeny ve WireShark. Jaký protokol je používán na aplikační úrovni?

7. Znovu vytvořte spojení VoIP pomocí aplikace Skype. Jeden ze studentů musí přejít z budovy C do budovy E. Při přechodu z jedné buňky do druhé buňky by měl druhý student sledovat proces handoveru v WireShark. Ukončete hovor a zastavte režim sledování. Odpovězte na otázku 4. (v sekci Kontrolní otázky). Zjistěte důvod odpojení. Vysvětlite princip handoveru.
8. Přejděte do složky *C:\MKPM\lab10* a otevřete soubor *SamsungS4_U2000.cap*, který byl sledován pomocí aplikace U2000 od Huawei. Analyzujte tento signalizační proces. Odpovězte na otázku 5. (v sekci Kontrolní otázky). Případné problémy konzultujte s vyučujícím.

Kontrolní otázky

1. Jaké funkce mají hlavní částí EPC sítě? Jaký je rozdíl mez EPS a EPC?
2. Vysvětlete, co he to IMSI a z čeho se tento identikátor skládá. Zjistěte hodnoty IMSI pro každý z mobilních zařízení.
3. Zkontrolujte, která rozhraní souvisí s bloky eNodeB, MME, S-GW a P-GW.
4. Jaký typ handoveru jste sledovali? Vysvětlite princip použitého handoveru.
5. Jaké procedury je možné vidět tady? Zda je možné určit telefonní čísla SIM kart. Pokud ano, zjistěte je. Pokud ne, vysvětlete proč to.

Seznam literatury

[1] Novotný V., Mobilní komunikační sítě a služby v all-IP prostředí pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta Elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014.

[2] HANUS, Stanislav. Nové technologie mobilních komunikací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav telekomunikací, 2013. ISBN 978-80-214-4824-7.

[3] The LTE Network Architecture [online]. Dostupné z: http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf

[4] SESIA S., TOUFIK I., BAKER M., LTE – the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-470-69716-0, GB, 2009

[5] System Architecture Evolution (SAE) – Security architecture, 3GPP, Tech. Rep. TS 33.401 Version 10.3.0 Release 10, 2012

[6] V. Srinivasa Rao, Rambabu Gajula, Protocol Signaling Procedures in LTE, 2011. Dosupné z:

http://go.radisys.com/rs/radisys/images/paper-lte-protocol-signaling.pdf

[7] RALF KREHER, Karsten Gaenger. LTE signaling troubleshooting and optimization. Norwood Mass: Books24x7.com, 2011. ISBN 978-047-0977-712.

[8] Handover Process in LTE. In: Telecom Techniques Guide [online]. [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: http://www.teletopix.org/4g-lte/handover-process-in-lte/

[9] V. Srinivasa Rao, Rambabu Gajula, Ineroperable UE Handovers in LTE, 2011. Dostupné z: http://go.radisys.com/rs/radisys/images/paper-lte-protocol-signaling.pdf

Seznam zkratek

ACK	Acknowledgement, Potvrzení
eNB	E-UTRAN Node B (Evolved Node B), Hardware, který je připojen k mobilní telefonní síti
EPC	Evolved Packet Core, Vylepšené paketové jádro
EPS	Evolved Packet System
E-Rab	evolved-Radio Acces Bearer, Vylepšený rádiový přístupový nosič
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network, Vylepšená Univerzální Přístupová síť’
GTP	GPRS Tunneling Protocol
HSS	Home Subscribe Server, Domovský účastnický server
IM	Instant messaging
IMS	IP Multimedia subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity, Unikátní číslo přidělené mobilním operátorem pro SIM kartu v mobilní síti
IP	Internet protocol
LTE	Long Term Evolution
MCC	Mobile Country Code
MIB	Master Info Broadcast, Broadcastové systémové parametry
MME	Mobility Management Entity, Klíčový řídící uzel pro přístupové sítě LTE.
MNC	Mobile Network Code
NAS	Non-Access Stratum, Funkční vrstva v síti LTE mezi páteřní sítí a uživatelským zařízením.
PCRF	Police and Charging Rules Function, Pravidla pro účtování služeb a pro kvalitu
P-GW	PDN Gateway, Výchozí brána pro paketový přenos
QoS	Quality of Services, Kvalita služeb
RRC	Radio Resource Control
SFN	System Frame Number
S-GW	Serving Gateway, Služební výchozí brána v systému LTE
SIP	Session Initiation Protocol, protokol pro inicializaci relací
UE	User Equipment, Uživatelské zařízení
VoIP	Voice over IP

Příloha B

Obrázek pracoviště

Na obrázku je uvedeno pracovní místo v místnosti SC5.32 T12.